



# Funktioner för att skatta höjdtillväxten i ungskog

Kenneth Nyström



*Skogliga konsekvensanalyser*  
*Skogens möjligheter på 2000-talet*

Arbetsrapport 68 2000

---

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
och geomatik  
S-901 83 UMEÅ  
Tfn: 090-786 58 25 Fax: 090-14 19 15, 77 81 16

ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR--68 --SE



# FÖRORD

Vi vet genom inventeringar och andra källor ganska väl hur Sveriges skogar ser ut, sköts och nyttjas i nuläget. Som underlag för strategiska beslut omfattande miljöfrågor, skogens brukande i framtiden samt industrifrågor, krävs också långsiktiga konsekvensanalyser. Dessa skall ge underlag till att svara på frågor om hur vi uppnår ett hållbart skogsbruk, en hållbar skogsindustri och ett hållbart energisystem. Sedan 1960-talet har landsomfattande skogliga konsekvensanalyser genomförts med 5-10 års intervall. Den senaste analysen, AVB 92, publicerades 1992.

Under åren 1998-1999 genomförs en ny landsomfattande studie, kallad Skogliga KonsekvensAnalyser 1999 (SKA 99). Dessa analyser skall visa på skogarnas utveckling och potential att leverera nyttigheter på 100 års sikt under antaganden beträffande skötsel och nyttjande. I SKA 99 samverkar Skogsstyrelsen, SLU, Statens energimyndighet, Naturvårdsverket och NUTEK. Tänkt användare av resultaten från analyserna är regering, riksdag, myndigheter, näringsliv, skogsägare och ideella organisationer.

Ansatsen i SKA 99 är bredare än i tidigare konsekvensanalyser. Miljö-, kol- och skogsbränslefrågorna belyses mer ingående. Dessutom är ambitionen att de i beräkningarna ingående förutsättningarna skall vara mer genomarbetade och bättre beskrivna än tidigare. Arbetet är grovt uppdelat i en förutsättnings-, en beräknings- och en analys/resultatredovisningsfas.

Denna rapport är en del i förutsättningsarbetet. I rapporten beskrivs nya funktioner för att skatta tillväxt på träd i ungskog, givet olika tillväxtbetingelser. Materialet till funktionerna är hämtat från Hugin's ungskogsinventering, vilket även de tidigare använda ungskogstillväxtfunktionerna var. De nya funktionerna skiljer sig emellertid från de tidigare genom att ståndortens produktionsförmåga skattas med hjälp av temperatursumma och direkta ståndortsegenskaper istället för som tidigare via ståndortsindex. De nya funktionerna tar dessutom hänsyn till överståndar- och kanteffekter.

Kenneth Nyström vid SLU i Umeå har utfört arbetet och sammanställt rapporten.

Jönköping i mars 2000

Sven A Svensson

Tomas Thuresson

Chef Analysenheten  
Skogsstyrelsen

Projektledare SKA99  
Skogsstyrelsen

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	5
INLEDNING .....	6
MATERIAL OCH METODER .....	8
HUGINS UNGSKOGSINVENTERING .....	8
DATA TILL FÖRELIGGANDE STUDIE .....	9
METODER.....	9
STÅNDORTSBESKRIVNING.....	10
BESTÅNDBESKRIVNING .....	12
RESULTAT.....	13
RESIDUALSTUDIER .....	15
PRODUKTIONSSIMULERINGAR .....	17
JÄMFÖRELSE MED GAMLA HÖJDUTVECKLINGSSAMBAND .....	19
DISKUSSION .....	23
ERKÄNNANDEN.....	27
LITTERATUR.....	28
APPENDIX 1.....	30

## SAMMANFATTNING

Som ett led i den landsomfattande konsekvensanalysen SKA 99 har tillväxtrutinerna för ungskog, ingående i Hugin-systemet, kompletterats med nya höjdtillväxtfunktioner för tall, gran och björk.

Förutsättningarna för virkesproduktion förändras oavbrutet. Modeller som skall prognostisera virkesproduktionen måste därför efter hand förnyas och nya faktorer beaktas.

I den nya skogspolitiken jämföras miljö- och produktionsmålen, vilket innebär ett ökat behov av att skatta den framtida beståndsutvecklingen givet olika typer av skötsel. En observerad effekt av detta nya skogsbruk är att beståndsanläggning genom naturlig förnyring och skärmar i olika former har ökat. Vidare har naturvårdshänsynen inom skogsbruket inneburit ett ökat sparande av naturvårdsträd, ökad andel kantzoner samt ändrade röjningsinstruktioner. Detta leder sammantaget till en ökad variation i samband med förnyingsavverkning avseende höjd-, diameter-, ålders- och trädslagsfördelningar i bestånden.

I föreliggande arbetsrapport redovisas nya höjdtillväxtfunktioner för enskilda träd av tall, gran och björk tillämpbara i höjdintervallet 2-8 meter baserade på material från Hugins ungsogsundersökning (Elfving 1982). Funktionerna utgör ett komplement och tillägg till tidigare höjdtillväxtingsfunktioner för ungskog i Hugin-systemet och har utarbetats i anslutning till den landsomfattande konsekvensanalysen – SKA 99. De nya funktionernas viktigaste egenskaper är att:

- konkurrens effekter till följd av överståndare och kanteffekter beaktas.
- temperatursumma och variabler för de primära ståndortsfaktorerna används, i stället för ståndortsindex, för att beskriva ståndortens bördighet.

Viktiga resultat från arbetet med de nya höjdtillväxtsambanden är bl. a. att:

- konkurrens effekten av överståndare på den uppväxande ungskogen beskrivs väl av en variabel för summa höjdkvadrat för överståndarna ( $\sum h^2$ ) på provytan. Utförda produktionssimuleringar resulterade i drygt 5 % produktionsnedsättning i den nya skogen vid lämnande av 10 överståndare per hektar utspridda över arealen,
- residualstudier och produktionssimuleringar indikerar att de nya höjdtillväxtfunktionerna ger en något högre höjdtillväxt för tall och björk medan höjdtillväxten för gran skattas lika jämfört med dagens höjdtillväxtingsfunktioner i ungskog (Elfving 1982),
- i utförda avverkningsberäkningar för Västernorrlands- och Hallands län leder de nya tillväxtfunktionerna till drygt en procentenhets högre ”mertillväxt” under en 100-års period jämfört med de hittills tillämpade ungskogsrutinerna.

# INLEDNING

Förutsättningarna för virkesproduktionen förändras oavbrutet. Prognosmodellerna bör därmed förnyas och nya faktorer beaktas. Hugin-systemet (Bengtsson et al. 1989) utvecklades under en period då svenskt skogsbruk helt dominerades av trakthyggesbrukets idéer. Produktionsmodellernas utformning kom att präglas av de rådande förhållandena och system för prognoser över skogens etablering och utveckling har främst utvecklats för likåldriga och homogena bestånd.

Sedan 1980-talet har insikten ökat beträffande behovet av ett skogsbruk som bättre än hittills bevarar skogens biologiska mångfald. För att uppnå detta menar många att skogsskötseln i högre grad än tidigare bör utformas med hänsyn till skogens naturliga dynamik och historik, då merparten av skogslandskapets flora och fauna är anpassad till sådana ursprungliga förhållanden (Lindhe & Drakenberg 1992).

I den nya skogspolitiken jämföras miljömålet med produktionsmålet, vilket bl. a. innebär att behovet av att skatta den framtida beståndsutvecklingen i olika typer av bestånd ökar. Detta ställer högre krav på flexibilitet i produktionsmodellerna i såväl beståndsanläggningsfasen som i den etablerade skogen.

Effekter av det nya skogsbruket, med ökade krav på naturhänsyn för att främja den biologiska mångfalden, är bl. a. att:

- Beståndsanläggning genom naturlig föryngring i olika former ökar. Andelen naturlig föryngring har ökat från ca 15 % under 1980-talet till knappt hälften av den föryngrade arealen 1993-1994 för att senare ha minskat igen (Nilsson & Gustavsson 1999).
- Förändrade skogsskötselstrategier med en ökad tillämpning av ståndortsanpassning i föryngringsarbetet leder sannolikt även till en ökad andel "kantzoner" i framtiden, p.g.a. mindre och mer oregelbundna föryngringsytor. Sedan början av 1980-talet har arealandelen med en åtgärdsareal mindre än 2 hektar ökat från ca 19 % 1984 till 25 % 1996. De riktigt stora åtgärdsenheterna, större än 20 ha, har under motsvarande tidsperiod minskat från en arealandel av ca 34 % till 27 % (Anon. 1999).
- Naturvårdsträd ("evighetsträd") från tidigare bestånd sparas vid föryngringsavverkningarna för att öka variationen i det nya beståndet. En annan trend inom skogsbruket är minskad tillämpning av hyggesrensning i samband med beståndsetablering samt ändrade röjningsinstruktioner där en mer varierad trädslagsblandning och höjdspridning tillåts i bestånden idag än tidigare (Nilsson & Söderberg 1999).

Förändringarna inom skogsbruket leder sannolikt till en ökad andel bestånd med större heterogenitet med avseende på höjd-, diameter-, ålders- och trädslagsfördelningar i framtiden jämfört med de bestånd som skapades under perioden 1950-1980. Behovet av hjälpmedel för att skatta produktionen i olika typer av beståndsstrukturer har således fått ökad aktualitet.

Skogshögskolans boniteringssystem (Hägglund & Lundmark 1981) utvecklades i slutet av 1970-talet, och baseras på skattningar av ståndortsindex (SI) d.v.s. de grövsta trädens förväntade medelhöjd vid given referensålder, t. ex. 100 års totalålder för tall och gran. Systemet för skattning av ståndortsindex har visat sig ha brister (se bl. a. Tegnhammar 1992, Elfving 1994). I Skogshögskolans boniteringssystem finns möjlighet att skatta SI, dels med höjduitvecklingskurvor för övrehöjdsträd (H-metoden) om beståndet och övrehöjdsträden uppfyller vissa regler, dels med ledning av ståndortsbeskrivande variabler (S-metoden) om ett boniteringsbart bestånd saknas. Vid den praktiska tillämpningen av H-metoden skattas SI lägre i äldre bestånd än i yngre på lika ståndort, vilket bl. a. förklaras av svårigheten att avgöra om övrehöjdsträden hämmats genom överskärning i tidig utvecklingsfas eller drabbats av skador

som påverkat höjdtutvecklingen. Detta har i sin tur givit upphov till problem med S-metoden, eftersom SIH (SI skattat med H-metoden) används som beroende variabel i de funktioner som ligger till grund för S-metoden. I nuvarande system underskattas SI i den unga skogen om skattningen görs med S-metoden. För grankulturer i Norrland medför detta att man underskattar medelproduktionen med 20-30 % om ståndortsindex skattas med S-metoden (Elfving & Nyström 1996). En strävan bör vara att ståndortens inverkan på tillväxten i de nya prognosfunktioner som tas fram beskrivs med primära ståndortsvariabler i stället för ståndortsindex.

I Hugin-systemet baseras tillväxtberäkningen i plant- och ungskog upp till ca 8 m medelhöjd på trädslagsvisa höjdtutvecklingsfunktioner för huvudstammar (Elfving 1982). Huvudstammarnas medelhöjd beskrivs som en funktion av totalålder och ståndortsindex. De enskilda trädens höjdtillväxt, diameter, volym och ålder beräknas därefter med hjälp av statistiska samband där trädhöjden är en betydelsefull variabel. Analyser av höjdtillväxtskattningen på återinventerade ungskogsytor ingående i Hugins ungskogsinventering har visat att höjdtillväxten underskattas något (Nyström & Söderberg 1987). Inför arbetet med AVB 92 (Anon. 1992) utfördes en korrigering av höjdtutvecklingsfunktionerna för gran baserade på återinventerade ungskogsytor i Hugins ungskogsinventering (Nyström 1992).

I föreliggande arbetsrapport redovisas nya höjdtillväxtfunktioner för enskilda träd av tall, gran och björk med tillämpningsområde i höjdistervallet 2-8 meter. Funktionerna utgör ett komplement till tidigare höjdtutvecklingsfunktioner för ungskog i Hugin-systemet. Syftet med arbetet har varit att inför de nya landsomfattande konsekvensanalyser –SKA 99, utveckla nya samband för höjdtillväxten i ungskog där:

- variabler för primära ståndortsfaktorer och klimat används direkt i sambanden för att beskriva ståndortens bördighet och ej som tidigare indirekt via ståndortsindex och,
- konkurrens effekter till följd av överståndare och kanteffekter i beståndet beaktas i modellen.

# MATERIAL OCH METODER

## Hugins ungskogsinventering

Hugins ungskogsytor lades ut åren 1976-1979 i föryngringar anlagda i huvudsak under 1950-talet och början av 1960-talet. Bestånden utgör huvudsakligen ett stratifierat slumpmässigt urval bland de föryngringsytor som återväxttaxerats i Skogsvårdsstyrelsens regi under perioden 1960-1968. Materialet omfattar totalt 800 bestånd fördelade över hela landet. I varje bestånd etablerades slumpmässigt fem cirkelprovytor med arealen 100 m<sup>2</sup>. Ytorna återinventerades fem år efter utläggning (1981-1984).

På varje provyta utfördes en vegetations- och ståndortsbeskrivning samt en stamräkning. Före inmätningen utsågs 1600 huvudstammar/ ha (efter en tänkt röjning) i huvudsak bland de härskande och medhärskande barrträden på ytan. Valda huvudstammar markerades så de kunde identifieras vid stamräkningen.

Vid stamräkningen drogs en dimensionsgräns på stamrika provytor så att de 40-60 mest "betydelsefulla" träden och stubbarna mättes individuellt och koordinatsattes. För koordinatsatta träd registrerades typ, trädslag, höjd, brösthöjdsdiameter och eventuella skador i olika klasser. Med typ avses trädets "status" på provytan; huvudstam, bistam, överståndare, stubbe etc.

Träd som ej koordinatsattes, träd under dimensionsgräns, räknades inom zonen 2-3 meter från ytcentrum och registrerades med antal och medelvärde för höjd eller diameter uppdelat på barrträd och lövträd.

Inventeringarna utfördes under vegetationsperioden. Trädhöjden hos barrträden registrerades exklusive årets skott före 20 juli och inklusive årets skott fr.o.m. detta datum.

För stubbar registrerades trädslag och stubbdiameter. För stubbar som var yngre än 5 år vid inventeringstillfället och som skjutit stubb- eller rotskott registrerades höjden på huvudskottet samt antal skott högre än huvudskottets halva höjd. För stubbskott äldre än 5 år registrerades höjd, brösthöjdsdiameter och antal skott högre än huvudskottets halva höjd.

Vid återinventeringen 5 år efter etableringen av provytorna mättes samtliga koordinatsatta stammar med avseende på typ, trädslag, höjd, diameter och skador. Uppenbara felregistreringar rättades till. Uppgifter om utförda skötselåtgärder på objekten kompletterades med typ och årtal för ingreppet. För ytterligare beskrivningar av inventeringsmetodiken hänvisas till Elfving (1982) och Näslund (1986).



## Data till föreliggande studie

I analysen av huvudstammarnas tillväxt i medelhöjd och det enskilda trädets höjdtillväxt ingår provytor med fem eller fler huvudstammar av tall, gran eller björk. Resterande provytor har dock utnyttjats vid kontroller av erhållna samband. Provyternas fördelning trädslagsvis över några beståndskaraktärer och trädkaraktärer redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Provytedata för olika materialgrupper med fem eller fler huvudstammar av aktuellt trädslag. För förklaringar till symboler och beteckningar se appendix 1.

	Tall		Gran		Björk	
Variabel	Medelvärde	Sdv	Medelvärde	Sdv	Medelvärde	Sdv
Provytedata						
H <sub>t</sub> , m	3.8	2.2	3.7	2.1	4.1	2.0
ΔH <sub>t</sub> , m	1.7	0.6	1.7	0.8	1.3	0.9
A <sub>t</sub>	7.3	4.8	7.1	4.3	8.2	4.9
Σh <sup>2</sup>	562	645	588	646	808	854
Snivå	9.4	16.7	2.7	7.4	9.2	18.0
TS <sub>5</sub>	1081	266	1127	255	953	281
Antal ytor	1547		1537		318	
Träddata						
h <sub>t</sub> , m	3.9	2.5	3.8	2.6	4.2	2.7
Δh <sub>t</sub> , m	1.8	0.8	1.8	1.0	1.3	1.0
Relh, h <sub>t</sub> /H <sub>t</sub>	0.99	0.36	0.99	0.42	0.99	0.38
Antal träd	14847		15658		2299	

## Metoder

Höjdtillväxten uttrycks som en funktion av ståndortens, beståndets och det enskilda trädets egenskaper. Två modellansatser har prövats. Gemensamt för båda modellerna är att tillväxtfaktorerna antas samverka multiplikativt med additiva oberoende slumpkomponenter(ε). Följande två modellansatser redovisas i föreliggande studie:

1 I modellansats 1 (M1) skattas det enskilda trädets höjdtillväxt i två steg.

I steg 1 skattas den förväntade tillväxten i medelhöjd för huvudstammar trädslagsvis på provytan som en funktion av ståndorts- och beståndsdata. På provytor med fem eller fler huvudstammar av aktuellt trädslag beräknas huvudstammarnas tillväxt i medelhöjd (ΔH) som skillnaden mellan uppmätt medelhöjd vid de två inventeringarna för de träd som vid Hugins ungskogsinventering var noterade som huvudstammar och som levde vid återinventeringen:

ΔH = H<sub>5</sub> - H<sub>0</sub>, där H<sub>0</sub> = medelhöjd vid tillväxtperiodens början, H<sub>5</sub> = medelhöjd efter 5 år.

Populationen "huvudstammar" är inte entydigt definierad utan representerar ett positivt urval bland de dominerande träden i bestånden. Höjdtillväxten för huvudstammarna antas samvariera exponentiellt med ståndorts- och beståndsdata, enligt följande generella modell:

(M1, steg1)  $\Delta H_t = \exp(B_0 + \sum B_i \times X_i) + \epsilon$

I steg 2 skattas den förväntade höjdtillväxten för det enskilda trädet som en funktion av huvudstammarnas höjdtillväxt för aktuellt trädslag och det enskilda trädets höjd i förhållande till huvudstammarnas medelhöjd för aktuellt trädslag. Följande variant av Chapmans-Richards funktion ligger till grund för beräkningarna:

$$(M1, \text{steg2}) \quad \Delta h_t = B_0 \times \Delta \hat{H}_t \times (1 - \exp(B_1 \times \frac{h_t}{H_t})) + \varepsilon$$

2 I modellansats 2 (M2) skattas det enskilda trädets tillväxt direkt som funktion av variabler för ståndort, bestånd och träd på provytan, enligt samma modellantagande som för huvudstammarna:

$$(M2) \quad \Delta h_t = \exp(B_0 + \sum B_i \times X_i) + \varepsilon$$

Parametrarna i höjdtillväxtmodellerna har skattats med data från återinventerade provytor ingående i Hugins ungsöksinventering. Data som ligger till grund för analysen har en hierarkisk struktur med korrelationer mellan träd inom provytor och mellan ytor inom bestånd. För att beakta detta beroende vid analyserna och skatta storleken på den slumpmässiga (oförklarade) variationen på olika nivåer i materialet har vid regressionsanalysen en s.k. blandad modellansats tillämpats med fixa och slumpmässiga effekter (Searle 1971). Skattningen av parametrarna för de fixa effekterna (de oberoende variablerna) och varianserna för de slumpmässiga effekterna har utförts med NLINMIX-macrot i statistikpaketet SAS<sup>®</sup> (SAS 1996).

I de olika modellerna för höjdtillväxt har de slumpmässiga effekterna på olika nivåer antagits vara oberoende och separerade enligt följande generella modell:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{bestånd}} + \varepsilon_{\text{yta}} + \varepsilon_{\text{träd}}$$

Där:

$\varepsilon_{\text{bestånd}}$  = slumpmässig beståndseffekt (variation mellan bestånd),  $N(0, \sigma_k^2)$

$\varepsilon_{\text{yta}}$  = slumpmässig yteffekt (variation mellan ytor inom bestånd),  $N(0, \sigma_{kj}^2)$

$\varepsilon_{\text{träd}}$  = slumpmässigt trädseffekt (variation mellan träd inom ytor),  $N(0, \sigma_{kji}^2)$

Nedan ges en översikt av de oberoende variabler som prövats i modellerna. Det enskilda trädet karaktäriseras i modellerna av trädslag ( $t$ ), trädhöjd ( $h_t$ ) och brösthöjdsålder ( $t_{13}$ ).

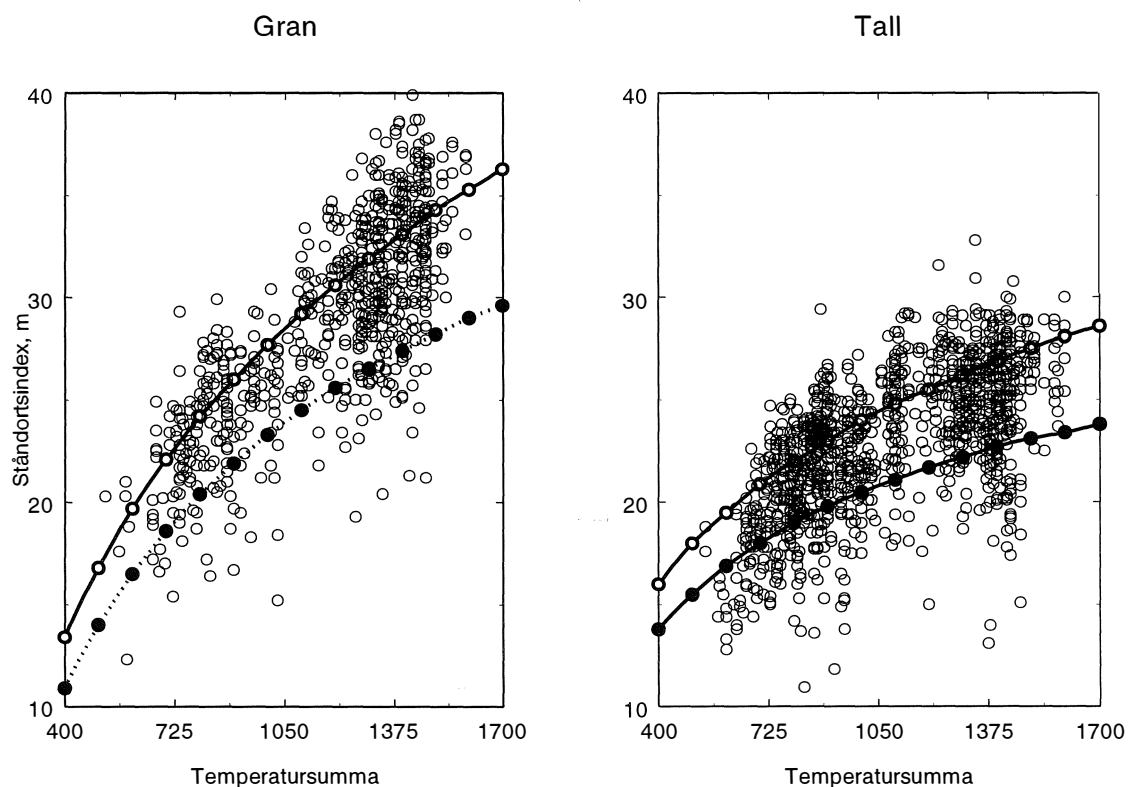
## Ståndortsbeskrivning

Vegetationsperiodens start och längd beror liksom temperatursumman på det geografiska läget uttryckt som latitud och altitud (Morén & Pertu 1994). I flera undersökningar har man tidigare visat på höga korrelationer mellan SI och temperatursumma (Fries et al. 1997) respektive genomsnittlig lokal produktionsnivå och temperatursumma (Morén & Pertu 1994). I analyser av grundytetillväxt för gran i ungskog fann Nyström & Kexi (1997) ingen skillnad med avseende på precision för modeller som baserades på SI korregerade för ålderstrenden (Tegnhammar 1996) och modeller där markens bördighet beskrevs med temperatursumma och primära ståndortsvariabler.

Enkla samband för att beskriva SIH (Hägglund 1972, 1973, 1974) som en funktion av temperatursumma och ståndortsvariabler framgår av tabell 2. I figur 1 illustreras sambandet mellan ståndortsindex för tall och gran enligt SIH och temperatursumma ( $TS_5$ ) för provytor med två överhöjdsträd av tall eller gran ingående i Hugins ungskogsundersökning. I figuren visas även partialsambanden för de skattade funktionssambanden  $SIH = f(TS_5, \text{Site})$ , för tall resp. gran.

Tabell 2. Samband mellan ståndortsindex enligt höjdkurvor (SIH, m) och temperatursumma ( $TS_5$ ) m. fl. ståndortsvariabler för tall och gran. Modell:  $SIH = B_0 + \sum(B_i \times X_i) + \sigma_k^2 + \sigma_{kj}^2$ . Symboler och beteckningar förklaras i appendix 1.

Variabel										
Trädslag	B <sub>0</sub>	ln(TS <sub>5</sub> )	TS <sub>5</sub> ×Rich	TS <sub>5</sub> ×Poor	Siln	Drysite	Wetsite	σ <sub>k</sub> <sup>2</sup>	σ <sub>kj</sub> <sup>2</sup>	N
Tall	-38.624	8.9583	0.0003	-0.0018	0.4085	-1.0627	-1.5534	2.5	2.8	1495
Gran	-77.469	15.001	0.0009	-0.0023	0.5763	-0.6274	-0.8273	4.9	5.6	902



Figur 1. Fördelning av provytor på ståndortsindex enligt höjdtillväxtnkurvor (SIH) och temperatursumma för gran respektive tall. I figuren framgår även partialsambanden för indikatorvariablerna Rich (-o-) och Poor (-•-) enligt funktionssambanden presenterade i tabell 2.

Ansatsen vid utvecklingen av de nya höjdtillväxtnfunktionerna har varit att beskriva markens produktionsförmåga med hjälp av temperatursumma och primära ståndortsvariabler. Ståndortens produktionsförmåga uttrycks i höjdtillväxtmodellerna direkt med hjälp av temperatursumma och en kombination av variabler som samvarierar med markens bördighet.

Som en första ansats indelades provytorna in i tre bördighets grupper med avseende på fältskikt och bottenskikt:

- Goda ståndorter (Rich). Provytor med fältskiktstypen ört- och bredbladig grästyp.
- Medelgoda ståndorter (Medium). Provytor med fältskiktstypen smalbladig grästyp, blåbär och mark utan fältskikt.
- Svaga ståndorter (Poor). Provytor med fältskiktstypen lingon, fattigris, lav och starrtyper.

Vid regressionsanalysen fick de medelgoda ståndorterna bilda referens och de goda och svaga ståndorterna kodades som indikatorvariabler. Ståndorterna klassades även med avseende på markfuktighet, jorddjup, rörligt markvatten etc. och olika kombinationer kodades som indikatorvariabler och testades som oberoende variabler i de olika modellerna.

## Beståndbeskrivning

Beståndet beskrivs med variabler som antas samvariera med höjdtillväxten i aktuellt bestånd. I M1 utgör medelhöjden för huvudstammarna trädslagsvis ( $H_t$ ) och i M2 det enskilda trädets höjd ( $h_t$ ) i utgångsläget den drivande variabeln.

Beståndets täthet uttrycks med höjdkvadratsumma, definierad som summan av alla trädhöjderna i kvadrat på provytan. Vid ungskogstaxeringen noterades förekomst av överståndare både på och invid provytorna. Med överståndare avses träd som fanns kvar efter föryngringsavverkningen. Vid analysen separerades konkurrens effekten av höjdkvadratsumman på huvud- och bistammar ( $\Sigma h^2$ ) samt på eventuella överståndare på provytan ( $\Sigma h^2 \text{Ovst}$ ). Omgivningens konkurrenspåverkan i form av överståndare eller kant mot äldre skog inom 10 meter från provytscentrum har studerats med indikatorvariabler (Kant).

Beståndets utvecklingsgrad beskrivs i modellerna med medelhöjd och ålder. Medelhöjden uttrycks som aritmetisk medelhöjd för huvudstammarna trädslagsvis ( $H_t$ ) och/eller som höjdvägd medelhöjd ( $H_L$ ), definierat som summa höjdkvadrat i förhållande till summa höjd på provytan ( $\Sigma h^2 / \Sigma h$ ). Skiktning och aktuellt trädslags ställning i beståndet beskrivs med kvoter mellan medelhöjden respektive höjden för aktuellt träslag och olika uttryck för medelhöjden för ytan ( $H_t / H_L$ ,  $h_t / H_t$  etc.).

Olika uttryck för åldern på provytan har prövats i analysen. Alla åldersuttryck avser åldern i brösthöjd för att undvika schablonmässiga bonitetsberoende tillägg för tid till brösthöjd. De enskilda trädåldrarna på provytan har beräknats med ålderstilldelningsfunktioner (Nyström & Söderberg 1987) kalibrerade med faktiska provträdsåldrar på provytan. Utifrån de enskilda trädåldrarna i brösthöjd ( $t_{13}$ ) har grundtyvägd beståndsålder i brösthöjd ( $A_{13}$ ), huvudstammarnas aritmetiska medelålder ( $A_t$ ) trädslagsvis beräknats.

Bestånden har varierande skadenivåer. För att reducera inflytandet av detta vid tillämpningen av modellerna har andelen skadade huvudstammar beaktats vid analysen. En variabel för andelen huvudstammar av aktuellt träslag som har skadats svårt under tillväxtperioden (Snivå, %) ingår i sambanden för M1. Med svår skada avses skador i allvarlighetsklass 3 och 4, se Näslund (1986). I medeltal för materialet är andelen huvudstammar som skadats svårt under tillväxtperioden 9 % för tall och björk. Motsvarande siffra för gran är 3 %, se tabell 1. I sambanden för de enskilda trädens höjdtillväxt (M1, steg2 och M2) ingår även indikatorvariabler för skador uppdelade i två allvarighetsklasser, lätta (s1) och svåra (s2).

# RESULTAT

I tabell 3 och 4 redovisas de slutliga funktionssambanden för modellansats 1 (M1) och i tabell 5 redovisas de slutliga funktionssambanden för modellansats 2 (M2). Genomförda residualstudier visar på god anpassning till materialet för relevanta variabler samt att ingående oberoende variabler har en logisk inverkan i de framtagna funktionssambanden. Generellt gäller att höjdtillväxten ökar med bättre ståndorts-betingelser, samt minskar med ökad ålder och ökad konkurrenseffekt. Residualstudier av de olika funktionerna indikerar att höjdtillväxten underskattas för fältskiktstyperna högört och lågört och då främst för trädslaget gran. I funktionssambanden har temperatursumman större inverkan på höjdtillväxten för gran och björk jämfört med tall, d.v.s. givet allt annat lika ökar höjdtillväxten mer för gran och björk vid bättre temperaturklimat relativt tall. Effekterna på höjdtillväxten på ståndorter som avviker från referensståndorten, d.v.s. ståndorter med markfuktighetsklassen frisk på mäktigt jorddjup, beskrivs med två indikatorvariabler (Drysite, Wetsite). Drysite avser torra ståndorter samt ståndorter med grunt eller mycket varierat jorddjup medan Wetsite avser blöta ståndorter samt torvmark.

Höjdvadratsumman som ett uttryck för tätheten på ytan har en negativ inverkan för trädslagen tall och gran men ej för björk. I materialet för björkfunktionerna med hög höjdvadratsumma dominerar ofta björk och samvarierar med "goda" tillväxtbetingelser så att konkurrenseffekten ej blir urskiljningsbar. Träd på provytor som påverkas av konkurrens från överståndare på eller i närheten av provytan har en lägre höjdtillväxt än "opåverkade" träd, signifikansnivån för variablerna är dock låg.

Tabell 3. Funktioner, (Modell M1, steg 1), för att skatta höjdtillväxt för huvudstammar av tall gran och björk. Beroende variabel  $\Delta H_t$ , m.  $\Delta H_t = \exp(B_0 + \Sigma(B_i \times X_i)) + \sigma_k^2 + \sigma_{kj}^2$ , där  $B_i$  är skattade koefficienter och  $X_i$  är oberoende variabler.

Variabel ( $X_i$ )	Tall		Gran		Björk	
	Koeff ( $B_i$ )	Medelfel	Koeff ( $B_i$ )	Medelfel	Koeff ( $B_i$ )	Medelfel
$B_0$	-0.693194	0.335448	-3.769062	0.424348	-3.569207	1.322225
$\ln(H_t)$	0.879608	0.055075	0.808106	0.061708	1.049894	0.238005
$H_t$	-0.081788	0.009740	-0.047240	0.009810	-0.049712	0.031557
$\Sigma h^2$	-0.000030	0.000010	-0.000088	0.000009	-	-
$\ln(10+A_{13})$	-0.775420	0.070824	-0.706794	0.067027	-1.205842	0.283702
$\ln(A_t/A_{13})$	-0.183048	0.035950	-0.143438	0.037915	-0.422018	0.168961
$\ln(1+Snivå)$	-0.054895	0.004066	-0.048024	0.006267	-0.130100	0.022195
Kant	-0.059298	0.017027	-0.055233	0.019145	-0.073226	0.070355
$\Sigma h^2 Ovst$	-0.000400	0.000087	-0.000231	0.000053	-0.000293	0.000238
$\ln(TS_5)$	0.411785	0.034899	0.814610	0.048717	0.911514	0.131992
Rich	-	-	0.050000	0.012064	0.169223	0.044591
Poor	-0.030690	0.012672	-0.109468	0.030925	-0.081009	0.084825
Drysite	-0.060661	0.015540	-	-	-	-
Wetsite	-0.119121	0.043349	-0.095023	0.029341	-0.205644	0.070663
$\hat{\sigma}_k^2$	0.0535		0.0625		0.1281	
$\hat{\sigma}_{kj}^2$	0.0686		0.1033		0.1266	
n	1531		1537		318	

Tabell 4. Funktioner, (Modell M1, steg 2), för höjdtillväxt för enskilda träd av tall, gran och björk. Beroende variabel,  $\Delta h_t$ , m.

$$\Delta h_t = B_0 \times \Delta H_t \times [1 - \exp(-B_1 \times h_t / H_t)] \times (1 - B_2 \times H_t) \times (1 - B_3 \times s_1) \times (1 - B_4 \times s_2) + \sigma_{kj}^2 + \sigma_{kji}^2$$

Variabel	Tall		Gran		Björk	
	Koeff	Medelfel	Koeff	Medelfel	Koeff	Medelfel
$B_0$	1.400578	0.014738	1.419701	0.017734	1.566622	0.064540
$B_1$	2.126039	0.044003	1.728845	0.032348	1.872466	0.148594
$B_2$	0.028566	0.001640	0.016132	0.002030	0.031552	0.004800
$B_3$	0.104047	0.008336	0.213692	0.010884	0.414032	0.045456
$B_4$	0.496259	0.013948	0.526992	0.023757	0.870578	0.079362
$\hat{\sigma}_{kj}^2$	0.0932		0.1363		0.1978	
$\hat{\sigma}_{kji}^2$	0.1953		0.2673		0.2448	
n	14431		15151		2166	

Tabell 5. Funktioner, (Modell M2), för höjdtillväxt för enskilda träd av tall, gran och björk. Beroende variabel  $\Delta h_t$ , (m).  $\Delta h_t = \exp(B_0 + \sum B_i \times X_i) + \sigma_{kj}^2 + \sigma_{kji}^2$ , där  $B_i$  är skattade koefficienter (Koeff) och  $X_i$  är oberoende variabler

Variabel ( $X_i$ )	Tall		Gran		Björk	
	Koeff ( $B_i$ )	Medelfel	Koeff ( $B_i$ )	Medelfel	Koeff ( $B_i$ )	Medelfel
$B_0$	-1.617035	0.165583	-4.588450	0.054417	-6.174292	0.382164
$h_t$	-0.098904	0.003583	-0.077548	0.003861	-0.099669	0.008994
$\ln(h_t)$	0.749737	0.020342	0.782370	0.017836	0.808056	0.054626
$\ln(1+h_t/H_L)$	0.151394	0.023130	2.761515	0.128357	0.244021	0.058371
$h_t/H_L$	-	-	-1.163131	0.062219	-	-
$\Sigma h^2/H_L^2$	-0.000157	0.000106	-0.000907	0.000081	-	-
$\ln(8+t_{13})$	-0.378109	0.030635	-0.618976	0.010627	-0.306520	0.061977
$s_1$	-0.139741	0.008772	-0.285591	0.014472	-0.459704	0.048023
$s_2$	-0.794279	0.023750	-0.791554	0.047909	-1.375119	0.150223
Kant	-0.064674	0.017447	-0.017896	0.009767	-	-
$\Sigma h^2 \text{Ovst}$	-0.000179	0.000059	-0.000208	0.000026	-0.000088	0.000085
$\ln(TS_5)$	0.389941	0.018849	0.804316	0.011057	0.962216	0.045456
Rich	0.037616	0.009041	0.055900	0.004904	0.148890	0.020062
Poor	-0.062178	0.010119	-0.139089	0.013579	-0.185207	0.038060
Drysite	-0.065790	0.010496	-0.035250	0.008183	-0.075413	0.028619
Wetsite	-0.145938	0.026509	-0.027588	0.013116	-0.121459	0.040271
$\hat{\sigma}_{kj}^2$	0.0833		0.1388		0.1880	
$\hat{\sigma}_{kji}^2$	0.2039		0.2665		0.2435	
n	16658		17953		4119	

## Residualstudier

Utvärderingen och jämförelsen av de två modellansatserna (M1, M2) har utförts m.h.a. residualstudier, där den fem års observerade och beräknade höjdtillväxten har jämförts för varje provyta. Beräknad tillväxt i medelhöjd har jämförts med observerad på provytor med fem eller fler träd, totalt 3404 provytor. Vid tillämpningen av M1 har på provytor som saknar huvudstammar för något förekommande trädslag har tillväxtrutinerna för huvudstammar enligt Elfving (1982) tillämpats. De enskilda trädens höjdtillväxt dock skattas med de i föreliggande rapport presenterade skiktningssambanden (M1, steg 2).

Vid analysen har tillväxten i medelhöjd analyserats för tre "populationer" av trädindivider på provytan: aritmetiskt medeltal för alla träd, aritmetiskt medeltal för huvudstammarna, höjdvägt medeltal för alla träd.

I medeltal för alla provytor har M1 överskattat tillväxten i medelhöjd för alla träd (RES1) med 3 cm (2%) och M2 överskattat tillväxten med 6 cm (4 %). Om de i beståndet dominerande träden viktas högre, som t.ex. huvudstammar (RES2) samt höjdvägd medelhöjd (RES3), blir avvikelserna i skattningen av höjdtillväxten mindre på provytan. Med M1 underskattas höjdtillväxten medan M2 överskattar tillväxten något för dessa träd. De ytvisa residualernas fördelning på olika klasser av fältskikt (tabell 6) och huvudstammarnas medelhöjd i utgångsläget (tabell 7) avslöjade inga allvariga trender med avseende på dessa beståndskaraktärer, förutom att M1 underskattar höjdtillväxten för bestånd över 8 meter i utgångsläget.

Tabell 6. Observerad höjdtillväxt samt medelvärden av residualer, observerad - beräknad tillväxt i medelhöjd på provytan (m), fördelad på klasser av vegetationstyper.

				M1			M2			N
	HTV	HTVH	HTVL	RES1	RES2	RES3	RES1	RES2	RES3	
RICH	1.74	1.99	2.11	-0.04	0.01	-0.01	-0.06	0.02	-0.05	1149
MEDIUM	1.41	1.64	1.79	0.00	0.05	0.06	-0.05	0.01	-0.01	1404
POOR	1.06	1.30	1.45	-0.08	-0.03	-0.01	-0.08	-0.03	-0.05	851
<b>MEDEL</b>	<b>1.43</b>	<b>1.67</b>	<b>1.82</b>	<b>-0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.03</b>	<b>3404</b>

HTV = observerad tillväxt i medelhöjd för samtliga träd på provytan, m  
 HTVH = observerad tillväxt i medelhöjd för huvudstammar på provytan, m  
 HTVL = observerad tillväxt i medelhöjd för höjdvägd medelhöjd i utgångsläget, m  
 RES1 = observerad - beräknad tillväxt i medelhöjd alla träd, m  
 RES2 = observerad - beräknad tillväxt i medelhöjd för huvudstammar, m  
 RES3 = observerad - beräknad tillväxt i medelhöjd för höjdvägd höjd, m

Tabell 7. Medelvärden av residualer, observerad - beräknad tillväxt i medelhöjd på provytan (m), fördelad på klasser av huvudstammarnas medelhöjd före tillväxt.

		Medelhöjd, m					Medel
		< 2	3	5	7	>8	
M1	RES1	-0.02	-0.03	-0.05	-0.04	0.05	-0.03
M1	RES2	0.00	0.02	-0.01	0.02	0.14	0.01
M1	RES3	0.08	0.02	-0.04	-0.01	0.11	0.02
M2	RES1	-0.03	-0.04	-0.07	-0.13	-0.14	-0.06
M2	RES2	-0.01	0.02	0.00	-0.02	0.02	0.00
M2	RES3	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	0.00	-0.03
Antal ytor		754	1382	785	355	128	3404

Skattningen av höjdtillväxten på provytor med olika grader av överståndarpåverkan redovisas i tabell 8. Av tabellen framgår att för M2 ökar överskattningen av höjdtillväxten i medelhöjd med ökat konkurrenstryck, M1 lyckas bättre att beskriva höjdtillväxten för de olika grupperna av påverkan, på provytor i kantzonen till äldre bestånd underskattas tillväxten dock.

Tabell 8. Medelvärden av residualer, observerad- beräknad tillväxt i medelhöjd på provytan (m), i olika klasser av påverkan. Normal = ingen påverkan, Kant = provytor med provytecentrum inom 10 meter från kant mot äldre skog eller överståndare. Överståndare = Överståndare finns på provytan ( $r=5.64$ ), Kant +överståndare = provytor inom 10 meter från kant mot äldre skog eller överståndare samt även har överståndare på provytan.

			M1			M2			N
	STHA	H	RES1	RES2	RES3	RES1	RES2	RES3	
Normal	2173	3.8	-0.03	0.00	0.01	-0.05	0.01	-0.03	2958
Kant	2085	3.3	0.03	0.10	0.18	-0.12	-0.03	-0.05	201
Överståndare	1942	2.9	-0.06	0.00	0.04	-0.14	-0.08	-0.11	217
Kant+överståndare	2000	2.4	0.06	0.11	0.25	-0.06	0.00	0.02	42
<b>MEDEL</b>	<b>2151</b>	<b>3.7</b>	<b>-0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.03</b>	<b>3404</b>

STHA = antal stammar per hektar. H = observerad medelhöjd för alla träd på provytan, m

Avvikelsen i skattningen av medelhöjdens utveckling i olika typer av lågskärm av löv har studerats på provytor med mer än 500 stammar björk och 500 stammar barrträd per hektar med en medelhöjd av minst en meter. Totalt består "björk-barr" materialet av 956 provytor. Resultatet framgår av tabell 9. Residualerna skattade med M1 uppvisar genomgående lägre bias och systematiska trender än motsvarande skattade med M2.



Tabell 9. Medelvärden av residualer, observerad - beräknad tillväxt i medelhöjd på provytan (m), i olika klasser av relativ medelhöjd mellan löv och barr på provytan.

RELATIV HÖJD	HBARR	H	M1			M2			N
			RES1	RES2	RES3	RES1	RES2	RES3	
< 0.8	3.5	2.7	0.01	0.06	0.07	-0.03	0.04	0.02	202
0.8-1.3	3.2	3.2	-0.04	0.01	0.03	-0.09	-0.02	-0.03	299
1.3-2.0	2.8	3.4	-0.07	-0.02	0.01	-0.12	-0.07	-0.06	243
2.0-	1.9	3.4	-0.06	0.00	0.02	-0.12	-0.04	-0.11	182
<b>MEDEL</b>	<b>2.9</b>	<b>3.7</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>-0.09</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.04</b>	<b>926</b>

HBARR =observerad medelhöjd för barrträd på provytan, m

H =observerad medelhöjd för alla träd på provytan, m

RELATIV HÖJD =barrträdens medelhöjd i förhållande till medelhöjden för alla träd på ytan, HBARR / H

Generellt ger M1 bättre skattningar av höjdtillväxten med avseende på bias och systematiska trender av residualerna på studerade provtytor.

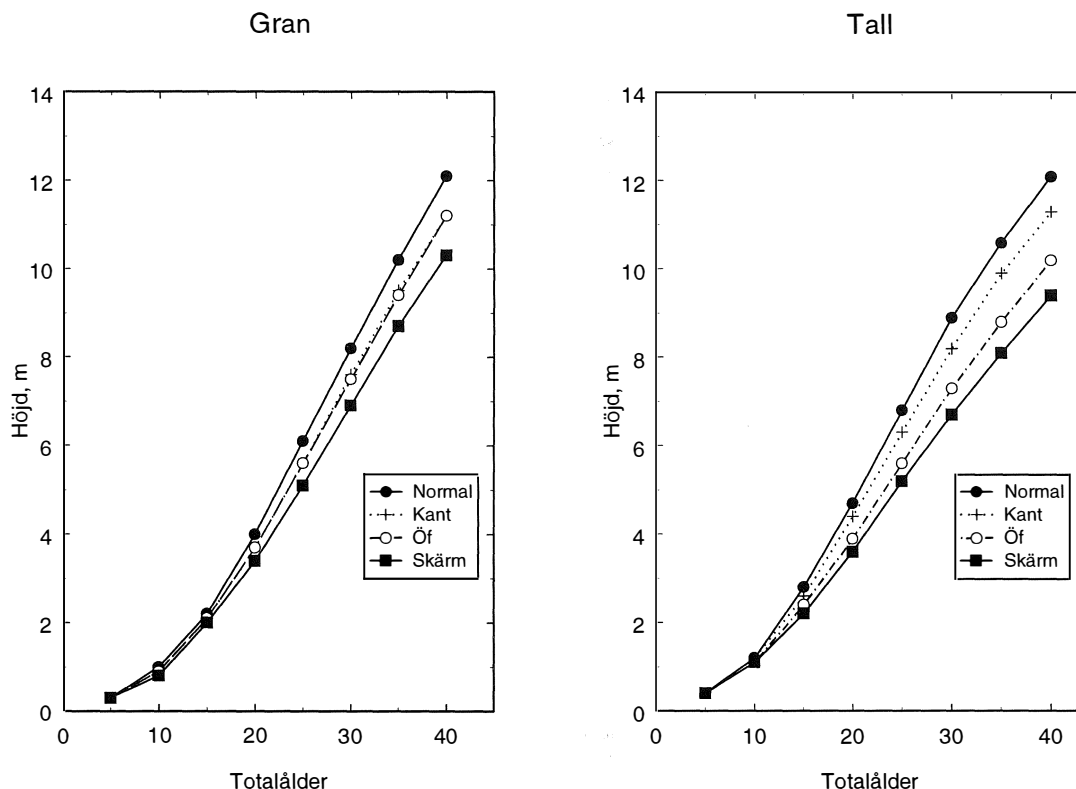
I den fortsatta analysen redovisas endast beräkningar med M1 då den bedöms ge robusta resultat för olika beståndsstrukturer och bäst lämpad att implementera i Hugin-systemet.

## Produktionssimuleringar

För att analysera effekten på produktionen av olika grader av överståndarpåverkan simulerades höjdtutvecklingen för två fiktiva planteringar, en gran- och en tallplantering med 2500 stammar per ha. Beräkningarna avser en ståndort med frisk medelgod mark (Rich=0 och Poor=0) och en temperatursumma på 1100 dygnsgrader (lat=60.4 N, alt=200 m.ö.h.) motsvarande ett ståndortsindex på G27.6 eller T24.1 enligt funktionssambanden redovisade i tabell 2. Vid simuleringen har utgångsläget, d.v.s. medelhöjden (H) vid totalålder 5 år, skattas med höjdtutvecklings funktionerna enligt Elfving (1982). Av de 2500 plantorna antogs 50 % av plantorna ha samma höjd som huvudstammarnas medelhöjd (H), 25 % av plantorna ha höjden  $0.75 \times H$  och 25 % av plantorna antogs ha höjden  $1.25 \times H$ . Den fortsatta höjdtutvecklingen för beståndet har simulerats med höjdtillväxtfunktioner enligt M1 i föreliggande studie. För att analysera effekten på höjdtutvecklingen för olika grader av överståndarpåverkan simulerades följande typfall:

- Normal höjdtutveckling för huvudstammar, d.v.s. ingen effekt av överståndare på eller inom 10 meter från provytans centrum (Normal).
- Höjdtutveckling för huvudstammar påverkade av kantzon till äldre bestånd eller med förekomst av överståndare inom 10 m från provytans centrum (Kant).
- Höjdtutveckling för huvudstammar med överståndare på provytan under hela beståndsutvecklingen, höjd överståndare 20 m (Öf).
- Höjdtutveckling för huvudstammar med överståndare på provytan samt inom 10 meter från ytcentrum, höjd överståndare 20 m (Skärm).

Höjdtutvecklingen för typbestånden med de olika simulerade konkurrenssituationerna (nivåer av påverkan av överståndare) redovisas i figur 2.



Figur 2. Höjdtutveckling för ett gran och tallbestånd i olika konkurrenssituationer, förutsättningar se text ovan.

Medelhöjden för bestånden vid 30 års ålder framgår av tabell 10. Överståndare på provytan reducerar höjdtillväxten i etableringsfasen med ca 20 procentenheter i tall- och 10 procentenheter i granplanteringen i förhållande till opåverkad "normal" utveckling.

I tabellen redovisas även beräknad totalproduktion för de olika typbestånden. Beståndsutvecklingen från 30 års totalålder fram till 80 års totalålder har beräknats med tillväxtfunktioner för enskilda träd i etablerad skog (Söderberg 1986).

Vid simuleringarna har stamantalet reducerats med 200 stammar per hektar på provytor med överståndare och 100 stammar i bestånd med "kant"-påverkan.

Av tabell 10 framgår hur den hämmade ungdomsutvecklingen påverkar totalproduktionen, uttryckt som medeltillväxt ( $\text{m}^3\text{sk/ha}$  och år) vid 80 års totalålder. På provytor med ett högre bestånd/överståndare utanför provytan ( $r=5.64$  m) men inom tio meter skattas produktionen till ca 90 procent av den i ett opåverkat bestånd, medan arealer med överståndare på provytan producerar ca 80 procent jämfört med opåverkat bestånd.

Tabell 10. Resultat från produktionsberäkningarna. Utgångsläge, medelhöjd (H) och grundyta (Gry) vid beståndsåldern 30 år samt beräknad medeltillväxten (MAI) vid 80 års totalålder. I tabellen redovisas även den relativa tillväxten (Rel), d.v.s. skattad MAI i förhållande till MAI för normal utveckling, för de olika typfallen.

Typfall	Tall				Gran			
	H (m)	Gry (m <sup>2</sup> /ha)	MAI (m3sk/ha o år)	Rel (%)	H (m)	Gry (m <sup>2</sup> /ha)	MAI (m3sk/ha o år)	Rel (%)
Normal	8.9	24.4	6.2	100	8.2	19.6	6.3	100
Kant	8.2	21.4	5.6	90	7.6	16.6	5.5	87
Överståndare	7.3	15.4	4.1	66	7.5	15.1	5.0	79
Skärm	6.7	13.5	3.8	61	6.9	12.8	4.4	70

Med data enligt tabell 10 beräknas produktionsnedsättningen för ett bestånd, (reducerad medeltillväxt), vid lämnande av 10 överståndare per hektar i tallbeståndet till 5.5 %. Beräkningen förutsätter att tio överståndare (höjd 20 m) lämnas utspridda över arealen och att varje överståndare antas påverka plantorna inom en cirkelyta med 10 m radie (314 m<sup>2</sup>) varav 100 m<sup>2</sup> med direkt överståndareffekt och resterande areal som kanteffekt, detta ger en produktionsnedsättning per ha jämfört med ett opåverkat bestånd (se tabell 10):

$$100 - (0.69 \times 100 + 0.21 \times 90 + 0.10 \times 66) = 5.5 \%$$

Motsvarande produktionsnedsättning för granbeståndet beräknas till 4.8 %. I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till överståndarträdens tillväxt med ett ökat konkurrenstryck på beståndet över tiden, så överståndareffekten underskattas troligen något vid simuleringarna. Vidare medför simulerade gallringar att skillnaden i produktion minskar något mellan alternativen.

### Jämförelse med gamla höjdtvecklingssamband

Den observerad tillväxten i medelhöjd på Hugins ungskogsytor har jämförts med beräknad medelhöjd, dels enligt Hugins gamla ungskogsrutiner (Elfving 1982), dels enligt de nya höjdtillväxtfunktionerna (M1). Jämförelsen avser provytor med mer än fem oskadade eller lätt skadade träd av tall, gran eller björk och avser dels alla träd på provytan dels enbart huvudstammarna.

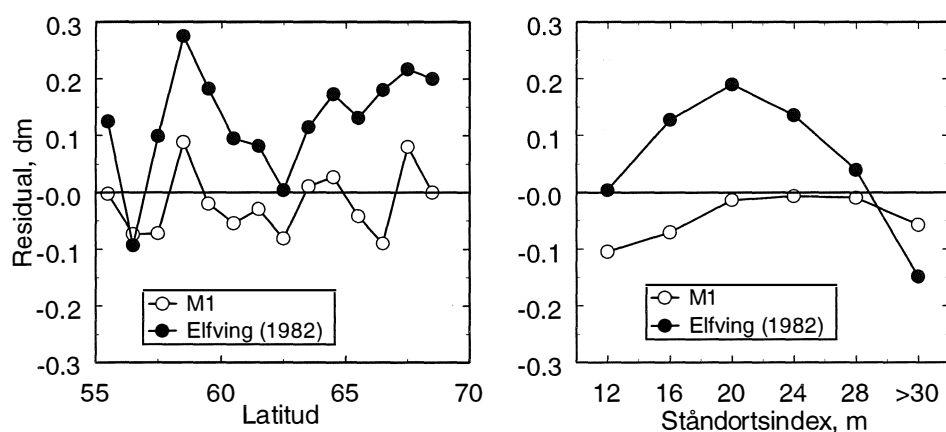
I medeltal underskattar Hugins gamla ungskogsrutiner tillväxten i medelhöjd för alla träd på provytan med ca 8 procentenheter och för "populationen" huvudstammar med ca 10 %. Som konstaterats tidigare överskattar de nya höjdtillväxtfunktionerna tillväxten i medelhöjd då alla träd beaktas på provytan med ca en procentenhet och huvudstammarnas höjdtillväxt underskattas med ca 1 %.

I tabell 11 redovisas residualernas fördelning på olika beståndstyper. Av tabellen framgår att det är i främst tall och/eller björk dominerade provytor som höjdtillväxten underskattas med Hugin gamla ungskogsrutiner. För grandominerade ytor är avvikelserna små vilket bekräftar att korregeringen av höjdtvecklingsfunktionerna för gran inför AVB 92 var relevant.

Tabell 11. Medelvärden av residualer, observerad- beräknad tillväxt i medelhöjd på provytan (m), fördelad på beståndstyper. Siffrorna inom parentes avser huvudstammarna.

	Tall	Beståndstyp				
		Gran	Löv	Barrbland	Bland	Medel
M1	-0.02(0.02)	-0.05(-0.01)	-0.02(0.01)	-0.02(0.03)	0.00(0.04)	-0.02(0.02)
Elfving (1982)	0.18(0.26)	-0.03(0.03)	0.18(0.22)	0.13(0.21)	0.14(0.19)	0.12(0.18)
Antal ytor	1082	704	503	381	556	3226

I figur 3 redovisas residualernas fördelning på olika läge i landet och bördighet representerat av latitud och ståndortsindex (Hägglund & Lundmark 1981). Förutom de systematiska avvikelserna uppvisar sambanden inga allvariga trender över läge i landet. Av figuren framgår dock att höjdtillväxten med de nya höjdtillväxtfunktionerna överskattas mer på provytor med låga ståndortsindex jämfört med provytor på bördigare ståndorter.

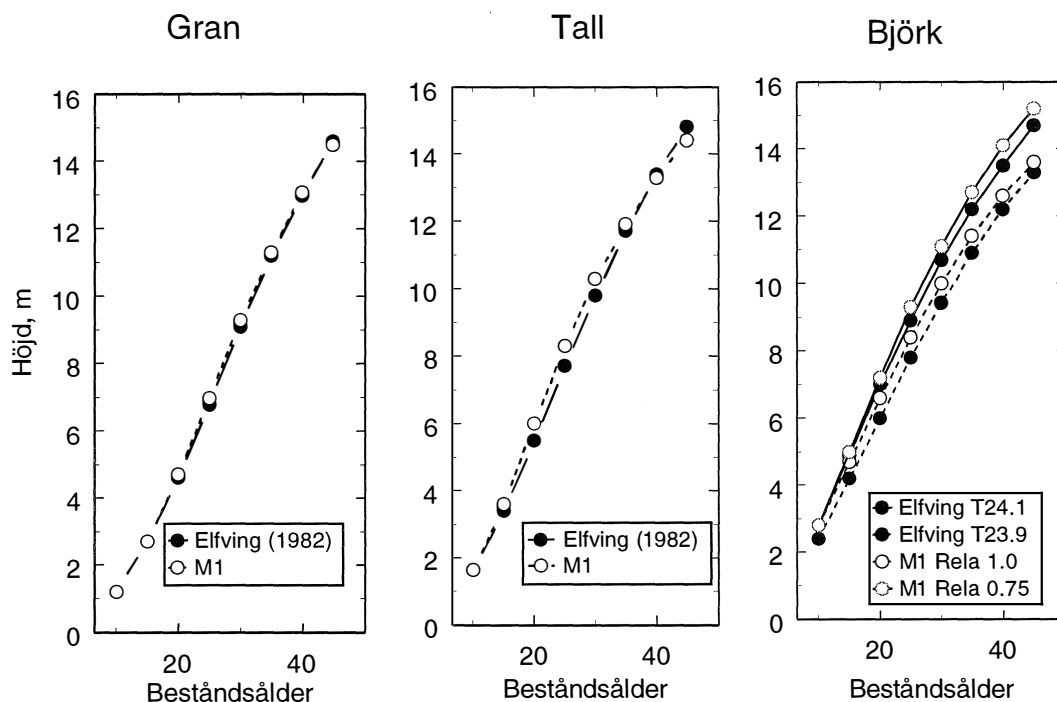


Figur 3. Skillnad mellan observerad och beräknad tillväxt i medelhöjd (m), för oskadade och lätt skadade träd på provytan.

För att undersöka eventuella skillnader i utvecklingsförlopp mellan höjdtillväxtsambanden (Elfving 1982) och höjdtillväxtfunktionerna enligt M1 genomfördes simuleringsstudier. Med utgångspunkt från det ovan (produktionssimuleringar sida 17) beskrivna utgångsläget genererades höjdtillväxter med de två modellerna.

I figur 4 redovisas erhållna höjdtillväxter med avseende på normal utveckling, utgångsläge höjden för huvudstammar vid totalåldern 10 år enligt Elfving (1982). Vid utgångslägen där medelhöjden är 1.3 m genererar den nya tillväxtmodellen en något snabbare höjdtillväxt för tall och gran i etableringsfasen. Om höjden i utgångsläget är under 1 meter så genererar höjdtillväxtsfunktionerna en högre höjdtillväxt i etableringsfasen, samt att tillväxten är mer uthållig, d.v.s. högre tillväxt vid högre trädhöjder.

Vid tillämpning av höjdtillväxtsfunktionerna enligt Elfving (1982) för björk så görs ett tillägg på 1.5 meter på ståndortsindex när ståndortsindex är lika eller större än T24. Av figur 4 framgår att de nya höjdtillväxtfunktionerna för björk ger en höjdtillväxt som ligger mellan de höjdtillväxter för björk enligt Elfving (1982) som genereras för ståndortsindex T23.9 och T24.1. Av figuren framgår även att variabeln för relativ ålder (Rela) har stor inverkan i funktionssambanden för björk.



Figur 4. Simulering av höjdtillväxt för plantskogar av gran, tall och björk. Utgångsläge höjd vid totalålder 10 år, enligt Elfving (1982).

Simulerings- och residualstudierna visar på en högre tillväxt i höjd för tall och björkdominerade bestånd med de nya höjdtillväxtfunktionerna jämfört med de rutiner för höjdtillväxt som i dag tillämpas i Hugin-systemet. En högre höjdtillväxt i plant- och ungskogen leder till bättre utgångslägen (läs högre grundyta) i den etablerade skogen och därmed bättre förutsättningar för en högre produktionsnivå i framtiden.

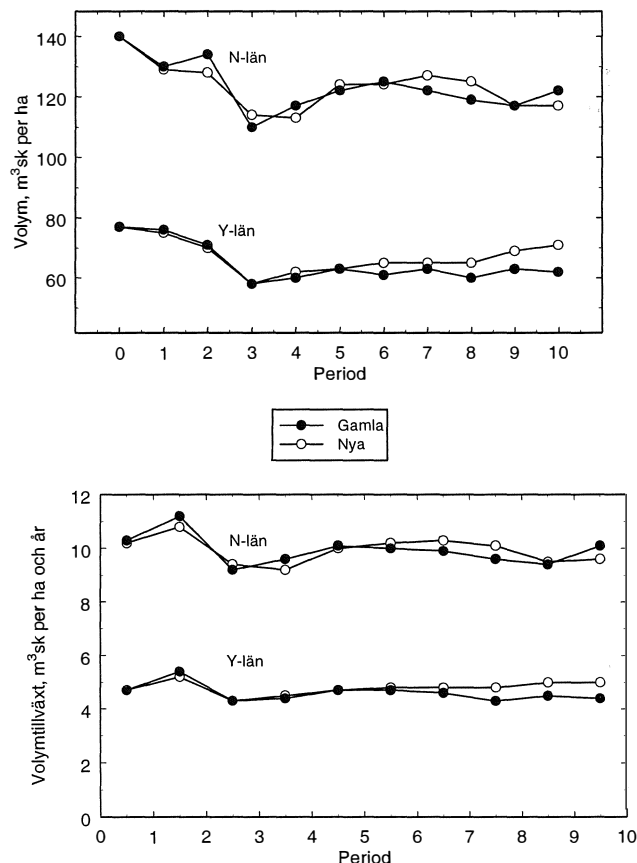
För att analysera eventuella effekter på den långsiktiga produktionsnivån vid tillämpningen av de nya höjdtillväxtfunktionerna i Hugin-systemet har en fullständig konsekvensberäkning utförts för två län, i södra Sverige (Hallands län) och i norra Sverige (Västernorrlands län). Förutsättningarna för beräkningarna är i enlighet med de som specificeras för "90- talets skogsbruk" i SKA 99 (Thuresson 1999).

I figur 5 redovisas volymen i åldersklassen 21-40 år för olika perioder i beräkningarna när nya höjdtillväxtfunktionerna (M1) och de ordinarie tillväxtrutinerna för ungskog (Elfving 1982) tillämpas vid beräkningarna. De nya tillväxtrutinerna för ungskogsutvecklingen resulterar i medeltal för de sex sista perioderna ca sex procentenheter högre volym och tillväxt i åldersklassen 21-40 i Västernorrlands län jämfört med de gamla, motsvarande siffror för Hallands län är ca 1 procentenhet.

För de båda länen ger de nya tillväxtfunktionerna drygt 1 procent högre "medeltillväxt" eller produktionsnivå under en 100 års period i avverkningsberäkningarna för de jämförda länen, beräknad som:

$$Prod_n = \frac{1}{n} \left[ Vf_n - Vf_0 + \sum_0^n avverkning \right]$$

där:  $Vf_n$  = Virkesförråd år n, ( $m^3sk$ ), avverkning = all avverkning inkl. naturlig avgång, n = år.



Figur 5. Volym och tillväxt i åldersklass 21-40 år under olika tioårsperioder. Beräkningarna är utförda med Hugin-systemet för Västernorrlands län (Y) och Hallands län (N). "Gamla" avser när höjdtillväxten beräknas enligt Elfving (1982) och "Nya" när höjdtillväxten beräknas enligt M1.

# DISKUSSION

Syftet med föreliggande arbete har bl.a. varit att utveckla befintliga rutiner för höjdtillväxt i ungskog i Hugin-systemet så att de bättre än i dag beskriver och renodlar konkurrenseffekterna för den uppväxande ungskogen vid lämnande av naturvårdsträd i återväxterna i samband med förnygringsavverkning.

I presenterade funktionssamband beskrivs "överståndareffekten", dels med en indikatorvariabel för förekomst utanför provytan ( $r = 5.64$ ) men inom tio meter från provytecentrum, dels med en variabel som beskriver täthet och storlek ( $\Sigma h^2$ ) på överståndarna på provytan. Materialet ger begränsade möjligheter till att studera effekter av naturvårdsträd på den uppväxande ungskogen. I föreliggande undersökning med material från Hugins ungskogsundersökning är lämnade större träd i återväxterna i huvudsak fröträd av tall och inte lämnade med det primära syftet att främja den biologiska mångfalden.

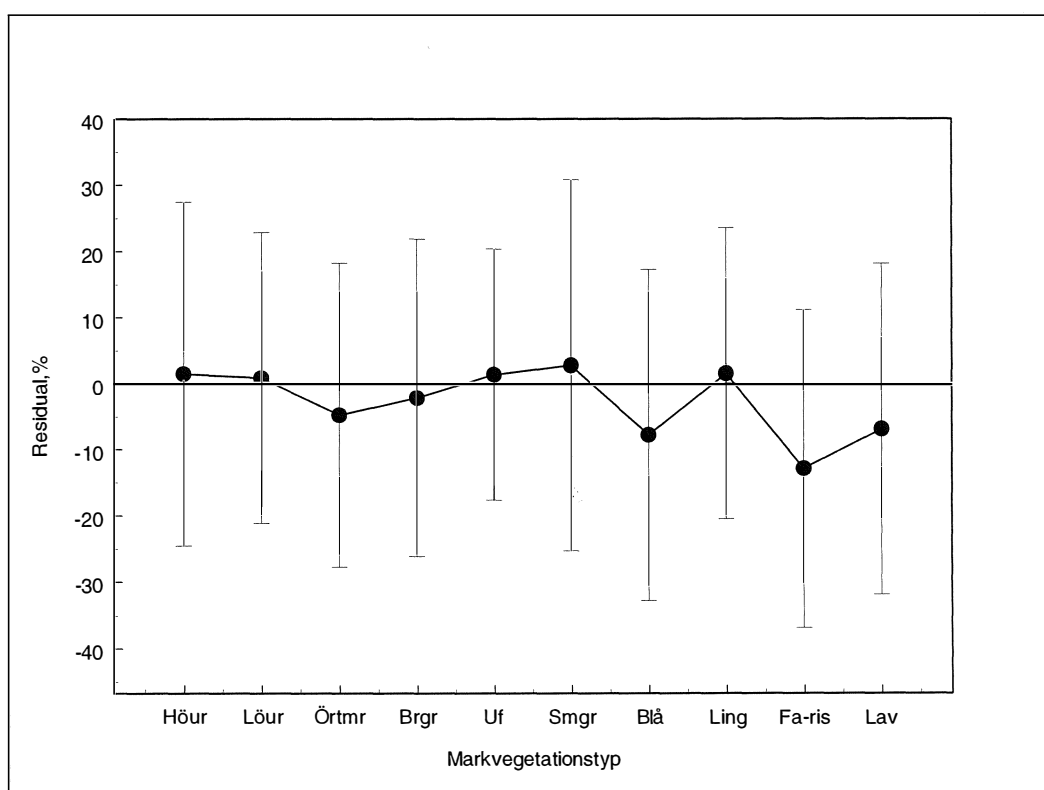
Skärmträdens tidiga negativa inverkan på höjdtutvecklingen på plantor av tall och gran har tidigare redovisats av bl. a. Hagner (1962). Kubin (1998) rekommenderar på basis av fältförsök att fröträd ska tas bort inom 4 år för att inte höjdtillväxten ska reduceras på den uppväxande plantgenerationen. Niemistö (1998) redovisar plantetablering och höjdtutvecklingen för plantor etablerade med olika avstånd från fröträd av tall. Antalet plantor var ca 30-40 % färre i närheten av fröträden jämfört med ett avstånd av 10 meter från fröträdet. Höjdtutvecklingen för plantorna var reducerad upp till ett avstånd av 15 meter från fröträdet.

Elfving (1996) redovisar resultat från en produktionssimulering, där förutsättningarna baserades delvis på ovan nämnda studier, en reduktion av den långsiktiga produktionen i en tallplantering på 5.7-8.5 procentenheter om tio "tallöverståndare" per hektar lämnas kvar i beståndet. Den lägre siffran om de ställs samlat och den högre siffran om de ställs utspridda. Den i föreliggande undersökning simulerade produktionsnedsättningen (5.5 %) för en tallplanteringen är något lägre men beror delvis på ett större antal stammar i utgångsläget än vad Elfving använde i sin analys. Den relativa produktionen mellan "normal" och "överståndarpåverkad" utveckling bör vara större vid låga än höga stamantal i utgångsläget. Andra orsaker som försvårar en direkt jämförelse av produktionseffekterna är storleken på "lämnad" överståndare samt tillämpade gallringsprogram vid framskrivningarna.

Sammanfattningsvis bedöms de här framtagna funktionerna väl uppfylla sitt syfte att på ett ändamålsenligt sätt ge realistiska skattningar av tillväxten i ungskogsbestånd påverkade av konkurrens från kvarlämnade "miljöträd" etc. Vid tillämpningen i Hugin-systemet bör dock vid implementeringen av ny skog från ungskogsdatabasen en reduktion av stamantalet på 200-300 stammar göras för de ytor som blir "valda" att representera arealer där ett miljöträd sparas i samband med förnygringsavverkning, se Thuresson (1999). Vid tillämpning av funktionerna i samband med lämnande av miljöträd i samband med planteringar bör en höjdreduktion eller ett ålderstillägg implementeras för den nya skogen beroende på de effekter som förväntas mellan plantetablering till redovisat "opåverkat" tillstånd i ungskogsdatabasen i Hugin-systemet.

En strävan i arbetet med de nya funktionssambanden har varit att beskriva markens produktionsförmåga direkt med ståndortsvariabler och klimatläge uttryckt med temperatursumma. Markens näringstabus uttrycks i funktionerna indirekt med bl. a. markvegetationstyp.

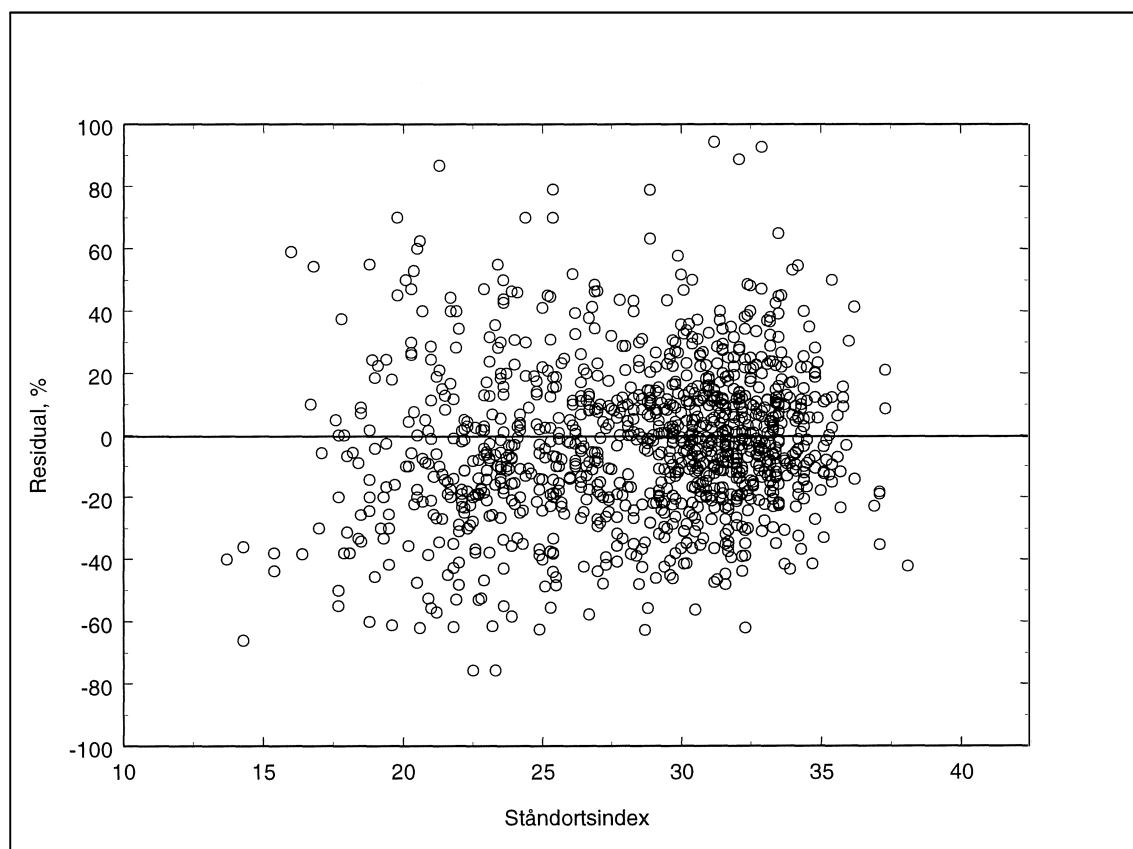
Markvegetationstypen är inte helt idealiskt för detta ändamål då den är korrelerad med beståndets utvecklingsgrad, vilket resulterar i att fördelningen av markvegetationstyper är olika i unga och gamla bestånd, se Tegnhammar (1992). I den äldre skogen dominerar markvegetationstypen blåbär och i den yngre smalbladig grästyp. I analysen aggregerades därför de olika markvegetationstyperna i 3 stora bördighetsklasser (Rich, Medium, Poor) för att minska problemet med den sk. vegetations-successionen efter föryngringsavverkning. I funktionssambanden för höjdtillväxten bildar bördighetsklassen "Medium" referensnivå, inkluderande markvegetationstyperna smalbladig grästyp (Smgr), blåbærtyp (Blå) och mark utan fältskikt (Uf). Den grova indelningen av markvegetationstyper till bördighetsklasser ger en låg differentiering på tillväxtnivåer mellan olika ståndorter i funktionerna. I figur 6 redovisas klassvisa medelresidualer, (observerad -beräknad)/beräknad tillväxt i medelhöjd (%), i olika klasser av markvegetationstyper. Av figuren framgår att det föreligger en "bördighetstrend" mellan olika markvegetationstyper inom en bördighetsklass. Inom bördighetsklass "Rich" underskattas höjdtillväxten för provytor med markvegetationstyperna högört utan ris (Höur) och lågört utan ris (Löur) medan tillväxten överskattas på provytor med Ört med ris (Örtmr) och bredbladig grästyp (Brgr). Inom bördighets klassen "Poor" så underskattas höjdtillväxten på provytor med markvegetationstypen lingontyp(Ling) och överskattas på ståndorter klassat som fattigris (Fa-ris), lavrika och lavtyper (Lav).



Figur 6. Medelvärden av residualer (%) i olika klasser av markvegetationstyp, se text ovan. Staplarna avser standardavvikelsen kring medelvärdet.  
Residual= (observerad-beräknad)/beräknad tillväxt i medelhöjd för alla träd på provytan (%)



Den enkla beskrivning av ståndortens bördighet som tillämpas i funktionssambanden har således en del brister men bör ge robusta skattningar för ståndortens produktionsförmåga, oberoende av när i beståndsutveckling bestämningen av markvegetationstyp för ståndorten sker. I figur 7 redovisas residualernas fördelning över ståndortsindex för gran, korrigerade för den skenbara ålderstrenden enligt Tegnhammar (1992) för de provytor i ungskogsmaterialet där det bonitetsvisande trädslaget är gran och granandelen är lika eller högre än 50 % av total grundyta. Avvikelsen mellan observerad och beräknad höjdtillväxt på provytorna uppvisar ingen signifikant trend över ståndortsindex .

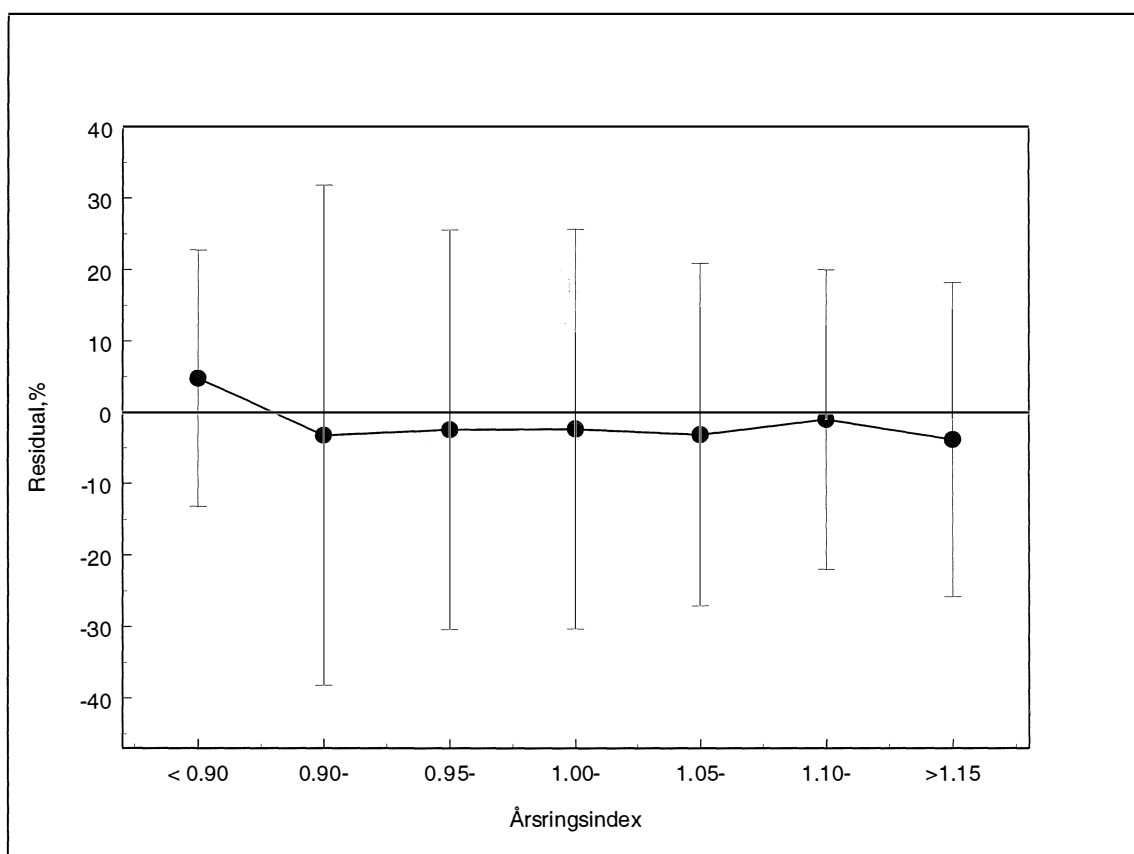


Figur 7. Ytvisa residualer fördelade över ståndortsindex för gran enligt Tegnhammar (1992).  
Residual= (observerad-beräknad)/beräknad tillväxt i medelhöjd för alla träd på provytan (%)

Med hänsyn till den bias som "ålderstrenden" i Skogshögskolans boniteringssystem ger så är ansatsen i föreliggande funktionssamband där ståndortens produktionsförmåga uttrycks direkt i funktionerna ett steg i rätt riktning för framtidens modeller för tillväxt. I föreliggande samband ingår höjd och ålder som oberoende variabler i sambanden som samvarierar med produktionspotentialen vilket "reducerar" betydelsen för de ståndortsbeskrivande variablerna. I samband utan åldersuppgifter ökar dock betydelsen av de ståndortsbeskrivande variablerna för att beskriva ståndortens produktionsförmåga (Nyström & Kexi 1997).

Vid tillämpningen av de presenterade funktionssambanden i Hugin-systemet kvarstår dock ett "ståndortsindex beroende", p.g.a att huvudstammarnas höjd i utgångsläget och ålder beräknas med tillväxtrutiner enligt Elfving (1982) när en ungskogsyta aktiveras från ungskogsdatabasen. Hur detta inverkar på de framtida produktionsnivåerna beräknade i Hugin-systemet är svåra att förutsäga, men den konstaterade mertillväxten på drygt en procent med de nya tillväxtfunktionerna är knappast någon överskattningar av den framtida tillväxtnivån i våra skogar.

Höjdtillväxten som ligger till grund för redovisade samband härstammar från uppmätta tillstånd från femårsperioder mellan åren 1976-1984. Årsmånens inverkan enligt årsringsindex (Jonsson & Stener 1986) har varit stor och växlande under de studerade tillväxtperioderna. Variationen i årsmån utjämnas dock p.g.a. tillväxtperioden längd. Det är inte heller klarlagt i tidigare undersökningar om årsmånens har samma inverkan på plant- och ungskog som äldre skog på vilken skattningen av årsringsindex baseras. För höjdtillväxten redovisar Eklund (1956) ett starkt samband mellan höjdtillväxten på härskande träd och årsringsindex men med ett års förskjutning. Residualernas fördelning över olika klasser av 5-års medeltal av årsringsindex för aktuell tillväxtperiod visar inte på några systematiska trender eller behov av att korrigera tillväxtnivån i framtagna samband (figur 8).



Figur 8. Medelvärden av residualer i olika klasser av femårsmedeltal av årsringsindex.

Residual= (observerad-beräknad)/beräknad tillväxt i medelhöjd för alla träd på provytan (%)

Utförda analyser av tillväxt i medelhöjd på provytorna visar på en systematisk överskattning av tillväxten om alla träd på provytan ingår och viktas lika vid beräkningarna medan höjdtillväxten underskattas något om endast "populationen" huvudstammar ingår i beräkningarna. Detta indikerar att skiktningen i beståndet underskattas något, avvikelserna är dock relativt små. Vid Hugins ungskogstaxering utsåg maximalt 1600 huvudstammar per hektar oberoende av bonitet och trädslag och således ett tämligen positivt urval för de flesta ståndorter. I dagens skogsbruk med betydligt fler stammar lämnade efter ungskogsrojning så förväntas de redovisade funktionssambanden väl beskriva höjdtutvecklingen för framtidens ungskogar.

Vid bedömning av tillväxtmodellernas tillämpbarhet måste grundmaterialets icke-experimentella karaktär beaktas. Hugin's ungskogsytor som ligger till grund för funktionssambanden är inte helt idealiskt som material för modeller för ungskogsutveckling i ett skogsbruk där principerna för beståndsanläggning och skogsskötsel kontinuerligt förändras. Bestånden, föryngringsytor etablerade i huvudsak under 1950 och 1960-talen, är i huvudsak etablerade efter trakthyggesbrukets principer, d.v.s. kalavverkning, hyggesrensning, markberedning och plantering med barrotsplanter eller med naturlig föryngring med fröträd. Den nya skogen som etableras i Hugin-beräkningarna, baseras således på bestånd som har anlagts under en relativt begränsad period (1950-1970) med dåvarande syn på föryngringsarbetet (beståndsanläggning och skogsskötsel) vilket minskar möjligheterna att generalisera resultaten för den nya skog som anläggs idag.

Utvecklingen av våra produktionsmodeller är en kontinuerlig process. En rad forskningsinsatser från olika håll krävs för att förbättra våra analyser av skogshushållningsfrågor med de nya målsättningarna i skogsbruket, som bl. a. kommer i uttryck i dagens skogspolitik (Dahlin et al. 1997, Anon. 1998). För att kunna göra prognoser för ett bredare register av såväl föryngringsmetoder som avverkningsingrepp måste nya modeller utvecklas (Lämås & Sallnäs 1994). Detta gäller inte minst den nya skogen som etableras i olika grader av fullskiktad skog. De presenterade funktionssambanden i föreliggande rapport ger fler möjligheter till en ökad flexibilitet i val av skötselprogram i konsekvensanalyser med Hugin-systemet.

## ERKÄNNANDEN

Ett tack riktas till:

Björn Elfving, Anders Lunström, Tomas Lämås och Göran Sthål vid SLU, samt Tomas Thuresson vid Skogsstyrelsens analysenhet som alla gett värdefulla kommentarer till manuskriptet.

# LITTERATUR

- Anon. 1992. Skogspolitiken inför 2000-talet., 1990 års skogspolitiska kommitté, Bilaga 10, Huvudbetänkande, SOU 1992:76. 343 s. ISBN 91-38-13131-5.
- Anon. 1998. ProdMod 2001-ett forskningsprogram för att utveckla produktionsmodeller för 2000-talet. SLU, inst. för skogsskötsel, arbetsrapporter nr 131 1998. ISSN 0281-7292.
- Anon. 1999. Miljötillståndet i skogen. Sveriges officiella statistik. Naturvårdsverkets förlag. ISBN 91-620-1199-5.
- Bengtsson, G., Holmlund, J., Lundström, A., & Sandewall, M. 1989. Avverkningsberäkning 1985, AVB 85. SLU, Inst. för skogstaxering, rapport 44. 329 sidor. ISSN 0348-0496.
- Dahlin, B., Ekö, P.-M., Holmgren, P. Lämås, T. & Thuresson T. 1997. Heureka - en modell för skogshudhållning, SLU, Uppsala Rapport 17. 115 sidor. ISSN 0283-1724.
- Elfving, B. 1982. Hugin's ungskogstaxering 1976-1979. SLU, Projekt HUGIN, rapport nr 27.
- Elfving, B. 1994. Analyser av bonitering med ståndortsfaktorer, grundade på rikstax-data från 1983-1986. SLU, Inst. för skogsskötsel, Arbetsrapporter Nr. 75. ISSN 0281-7292
- Elfving, B. 1996. Evighetsträdens betydelse för virkesproduktionen. SLU, institutionen för skogsskötsel, Stencil.
- Elfving, B. & Nyström, K., 1996. Yield Capacity of Planted *Picea abies* in Northern Sweden. Scand. J. For. Res. 11:38-49.
- Eklund, B. 1956. Ett förbandsförsök i tallskog. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 46:10.
- Fries, A., Ruotsalainen, S. & Lindgren, D. 1998. Effects of Temperature on the Site Productivity of *Pinus sylvestris* and Lodgepole pine in Finland and Sweden. Scand. J. For. Res. 13: 128-140.
- Hagner, S. 1962. Naturlig föröngning under skärm. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 52:4.
- Hägglund, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. - Skogshögskolan, institutionen för skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 21.
- Hägglund, B. 1973. Om övre höjdens utveckling för gran i södra Sverige. - Skogshögskolan, institutionen för skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 24.
- Hägglund, B. 1974. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. - Skogshögskolan, institutionen för skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 31.
- Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1981. Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Skogsstyrelsen, Jönköping, Sverige, 124 pp. ISBN 91-857448-14-5.
- Jonsson, B. & Stener, L.-G. 1986. Totala årsringsindex för tall och gran i olika delar av landet åren 1950-1983. SLU, inst. för biometri och skogsindelning. Rapport nr 15.
- Kubin, E. 1998. When to remove Scots pine seed trees. (*in*) New Stand types in boreal forestry. Finnish Forest Research Institute (Metla), Research Papers 714:45-54. ISSN 0358-4283.
- Linde, A. & Drakenberg, B. 1992. Modifierade skogsbruksmetoder och biologisk mångfald. Skog och Forskning 4: 26-31. ISSN 1101-9506.
- Lämås, T. & Sallnäs, O. 1994. Skoglig planering - för mer än virke. Skog och Forskning 4 : 12-17. ISSN 1101-9506

- Moren, A-S. & Perttu, K. L. 1994. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. *Studia Forestalia Suecica* 194. Uppsala.
- Niemistö, P. 1998. Development of tree stand during a protracted natural regeneration period of scots pine. (in) *New Stand types in boreal forestry*. Finnish Forest Research Institute (Metla), Research Papers 714:141-146. ISSN 0358-4283.
- Nilsson, P. & Gustavsson, K. 1999. Skogsskötsel vid 90-talets mitt - läge och trender. Inst. för skoglig resurshushållning och geomatik, SLU, Umeå. Arbetsrapport 56. 63 s. ISSN 1401-1204.
- Nilsson, P. & Söderberg, S. 1999. Trender i svensk skogsskötsel - en intervjuundersökning. Inst. för skoglig resurshushållning och geomatik, SLU. Arbetsrapport 57. 21 s. ISSN 1401-1204.
- Nyström, K. 1992. Analys av ungskogsdata och ståndortsindex för grankulturer i mellersta Norrlands inland och höglägen.- Slutrapport från projektet "Den nya skogens produktionspotential". Inst. för skogstaxering, stencil.
- Nyström, K. & Kexi, M. 1997. Individual tree basal area models for young stands of Norway spruce in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 97: 173-185.
- Nyström, K. & Söderberg, U. 1987. Tillväxtberäkningen i ungskog i Hugin-systemet. En kontroll med data från återinventerade ungskogsytor. Inst. för skogsskötsel, Arbetsrapport nr 18. ISSN 0281-7292.
- Näslund, B.-Å., 1986. Simulering av skador och avgång i ungskog och deras betydelse för beståndsutvecklingen. SLU, inst för skogsskötsel. Rapporter nr 18. ISSN 0348-8969.
- Odin, H., Eriksson, B. & Perttu, K. 1983. Temperaturkartor för svenskt skogsbruk. SLU, inst för skoglig marklära, rapporter i skogsekologi och skoglig marklära 45.
- Tegnhammar L. 1992. Om skattning av ståndortsindex för gran. SLU, Inst. f. skogstaxering, Rapport 53. 259 s. ISSN 0348-0496.
- Thuresson, T. 1999. Scenarier och Analyser i SKA 99. Förutsättningar. Skogsstyrelsen, Rapport 4 1999. ISSN 1100-0295.
- SAS, 1996. SAS System for Mixed Models. Sas Institute Inc., Cary, NC, USA. 663 s. ISBN 1-55544-779-1.
- Searle, S. R. 1971. Linear models, John Wiley & Sons. New York, 532 sidor.
- Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. SLU, avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, Umeå. Rapport 14, 251 sidor. ISSN 0349-2133.

## Appendix 1

### Symboler och beteckningar:

Tillståndsdata avser tidpunkten för utläggningen av provytorna och tillväxten hänför sig till förändringen mellan utläggning och återinventering efter 5 år.

$H_t$	=	Aritmetisk medelhöjd huvudstammar, m
$H_L$	=	Beståndsmedelhöjd, definierat som summa höjdkvadrat i förhållande till summa höjd på provytan ( $\Sigma h^2 / \Sigma h$ ).
$h_t$	=	Trädhöjd, m
$\Delta H_t$	=	5-års tillväxt höjdtillväxt för huvudstammar, m
$\Delta h_t$	=	5-års höjdtillväxt för ett enskilt träd, m
$A_{13}$	=	Beståndsålder, grundytvåg ålder i brösthöjd, år Tillägg till $A_{13}$ ; Om $H < 1.3$ $A_{13} = H$ annars $A_{13} = 1.3 + A_{13}$
$A_t$	=	Aritmetisk medelålder för huvudstammar i brösthöjd, år Tillägg till $A_t$ ; Om $H_t < 1.3$ $A_t = H_t$ annars $A_t = 1.3 + A_t$
$t_{13}$	=	Brösthöjdsålder för ett enskilt träd, år Tillägg till $t_{13}$ ; Om $h_t < 1.3$ $t_{13} = h_t$ annars $t_{13} = 1.3 + t_{13}$
$\Sigma h^2$	=	Höjdkvadratsumma, alla träd <u>exklusive</u> överståndare på provytan, $\sum_1^k h_t^2$ , $m^2/100 m^2$
$\Sigma h^2_{Ovst}$	=	Höjdkvadratsumma för alla överståndare på provytan, $m^2/100 m^2$
$Snivå$	=	Andel huvudstammar för aktuellt trädslag som skadats svårt under tillväxtperioden (skadekod 3 och 4), %
$s1$	=	Indikatorvariabel för ett träd som skadas måttligt under tillväxtperioden (kod 2).
$s2$	=	Indikatorvariabel för träd som skadas svårt under tillväxtperioden (kod 3-4).
$Kant$	=	indikatorvariabel för ytor i kantzonen till äldre skog samt med överståndare inom 10 meter från provytans centrum men utanför själva provytan ( $r = 5.64$ m).
$TS_5$	=	Temperatursumma, summan av alla dygnsmedelvärden under vegetationsperioden som överstiger tröskelvärde +5°C, dygnsgrader. (Odin et al. 1983)
$Rich$	=	Indikatorvariabel, $Rich=1$ för ståndorter med vegetationstyperna ört och bredbladig grästyp, annars $Rich=0$ .
$Poor$	=	Indikatorvariabel, $Poor=1$ för ståndorter med vegetationstyperna lingon, fattigris, starr och lav, annars $Poor=0$ .
$Siln$	=	Indikatorvariabel, $Siln=1$ för ståndorter med rörligt markvatten under längre perioder, annars $Siln=0$ .
$Drysite$	=	Indikatorvariabel för provytor på torra ståndorter, provytor med grunt eller mycket varierat jorddjup, provytor på häll eller med grov texturklass
$Wetsite$	=	Indikatorvariabel för provytor på blöta ståndorter samt ståndorter på torvmark
$\epsilon_{bestånd}$	=	slumpmässig beståndseffekt mellan bestånd, $N(0, \sigma_k^2)$
$\epsilon_{yta}$	=	slumpmässig yteffekt inom bestånd, $N(0, \sigma_{kj}^2)$
$\epsilon_{träd}$	=	slumpmässigt trädeffekt inom ytor, $N(0, \sigma_{kji}^2)$

Serien Arbetsrapporter utges i första hand för institutionens eget behov av viss dokumentation. Rapporterna är indelade i följande grupper: Riksskogstaxeringen, Planering och inventering, Biometri, Fjärranalys, Kompendier och undervisningsmaterial, Examensarbeten samt internationellt. Författarna svarar själva för rapporternas vetenskapliga innehåll.

---

### **Riksskogstaxeringen:**

- 1995    1    Kempe, G. Hjälpmedel för bestämning av slutenhet i plant- och ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--1--SE
- 2    Riksskogstaxeringen och Ståndortskarteringen vid regional miljöövervakning. - metoder för att förbättra upplösningen vid inventering i skogliga avrinningsområden. ISRN SLU-SRG-AR--2--SE.
- 1997   23   Lundström, A., Nilsson, P. & Ståhl, G. Certifieringens konsekvenser för möjliga uttag av industri- och energived. - En pilotstudie. ISRN SLU-SRG-AR--23--SE.
- 24   Fridman, J. & Walheim, M. Död ved i Sverige. - Statistik från Riksskogstaxeringen. ISRN SLU-SRG-AR--24--SE.
- 1998   30   Fridman, J. & Kihlblom, D. & Söderberg, U. Förslag till miljöindexsystem för naturtypen skog. ISRN SLU-SRG-AR--30--SE.
- 34   Löfgren, P. Skogsmark, samt träd- och buskmark inom fjällområdet. En skattning av arealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--34--SE.
- 37   Odell, G. & Ståhl, G. Vegetationsförändringar i svensk skogsmark mellan 1980- och 90-talet. -En studie grundad på Ståndortskarteringen. ISRN SLU-SRG-AR--37--SE.
- 38   Lind, T. Quantifying the area of edge zones in Swedish forest to assess the impact of nature conservation on timber yields. ISRN SLU-SRG-AR--38--SE.
- 1999   50   Ståhl, G., Walheim, M. & Löfgren, P. Fjällinventering. - En utredning av innehåll och design. ISRN SLU-SRG--AR--50--SE.
- 52   Riksskogstaxeringen inför 2000-talet. - Utredningar avseende innehåll och omfattning i en framtida Riksskogstaxering. Redaktörer: Jonas Fridman & Göran Ståhl. ISRN SLU-SRG-AR--52--SE.
- 54   Fridman, J. m.fl. Sveriges skogsmarksarealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--54--SE.
- 56   Nilsson, P. & Gustafsson, K. Skogsskötseln vid 90-talets mitt - läge och trender. ISRN SLU-SRG-AR--56--SE.
- 57   Nilsson, P. & Söderberg, U. Trender i svensk skogsskötsel - en intervjuundersökning. ISRN SLU-SRG-AR--57--SE.

- 1999 61 Broman, N & Christoffersson, J. Mätfel i provträdsvariabler och dess inverkan på precision och noggrannhet i volymskattningar. ISRN SLU-SRG-AR--61--SE.
- 2000 65 Hallsby, G m.fl. Metodik för skattning av lokala skogsbränsleresurser. ISRN SLU-SRG-AR--65--SE.

### **Planering och inventering:**

- 1995 3 Holmgren, P. & Thuresson, T. Skoglig planering på amerikanska västkusten - intryck från en studieresa till Oregon, Washington och British Columbia 1-14 augusti 1995. ISRN SLU-SRG-AR--3--SE.
- 4 Ståhl, G. The Transect Relascope - An Instrument for the Quantification of Coarse Woody Debris. ISRN SLU-SRG-AR--4--SE
- 1996 15 van Kerkvoorde, M. A sequential approach in mathematical programming to include spatial aspects of biodiversity in long range forest management planning. ISRN SLU-SRG-AR--15--SE.
- 1997 18 Christoffersson, P. & Jonsson, P. Avdelningsfri inventering - tillvägagångssätt och tidsåtgång. ISRN SLU-SRG-AR--18--SE.
- 19 Ståhl, G., Ringvall, A. & Lämås, T. Guided transect sampling - An outline of the principle. ISRN SLU-SRGL-AR--19--SE.
- 25 Lämås, T. & Ståhl, G. Skattning av tillstånd och förändringar genom inventerings-simulering - En handledning till programpaketet "NVSIM". ISRN SLU-SRG-AR--25--SE.
- 26 Lämås, T. & Ståhl, G. Om dektering av förändringar av populationer i begränsade områden. ISRN SLU-SRG-AR--26--SE.
- 1999 59 Petersson, H. Biomassafunktioner för trädfractioner av tall, gran och björk i Sverige. ISRN SLU-SRG-AR--59--SE.
- 63 Fridman, J., Löfstrand, R. & Roos, S. Stickprovsvis landskapsövervakning - En förstudie. ISRN SLU-SRG-AR--63--SE.
- 2000 68 Nyström, K. Funktioner för att skatta höjdtillväxten i ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--68--SE.

### **Biometri:**

- 1997 22 Ali, Abdul Aziz. Describing Tree Size Diversity. ISRN SLU-SEG-AR--22--SE.
- 1999 64 Berhe, L. Spatial continuity in tree diameter distribution. ISRN SLU-SRG-AR--64--SE



### **Fjärranalys:**

- 1997 28 Hagner, O. Satellitfjärranalys för skogsföretag. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE.
- 29 Hagner, O. Textur till flygbilder för skattning av beståndsegenskaper. ISRN SLU-SRG-AR--29--SE.
- 1998 32 Dahlberg, U., Bergstedt, J. & Pettersson, A. Fältinstruktion för och erfarenheter från vegetationsinventering i Abisko, sommaren 1997. ISRN SLU-SRG-AR--32--SE.
- 43 Wallerman, J. Brattåkerinventeringen. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE.
- 1999 51 Holmgren, J., Wallerman, J. & Olsson, H. Plot - Level Stem Volume Estimation and Tree Species Discrimination with Capi Remote Sensing. ISRN SLU-SRG-AR--51--SE.
- 53 Reese, H. & Nilsson, M. Using Landsat TM and NFI data to estimate wood volume, tree biomass and stand age in Dalarna. ISRN SLU-SRG-AR--53--SE.
- 2000 66 Löfstrand, R., Reese, H. & Olsson, H. Remote Sensing aided Monitoring of Non-Timber Forest Resources - A literature survey. ISRN SLU-SRG-AR--66--SE.

### **Kompendier och undervisningsmaterial:**

- 1996 14 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 92/96. En analys av skogsstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en del av Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 21 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. En analys av skogsstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en stor del av Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--21--SE.
- 1998 42 Holm, S. & Lämås, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. An analysis of the state of the forest and of some management alternatives for the Östad estate. ISRN SLU-SRG-AR--42--SE.
- 1999 58 Holm, S. samt studenter vid Sveriges lantbruksuniversitet i samband med kurs i strategisk och taktisk skoglig planering år 1998. En analys av skogsstillståndet samt några alternativa avverknings beräkningar för Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--58--SE.

### **Examensarbeten:**

- 1995 5 Törnquist, K. Ekologisk landskapsplanering i svenskt skogsbruk - hur började det?. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--5--SE.
- 1996 6 Persson, S. & Segner, U. Aspekter kring datakvaliténs betydelse för den kortsiktiga planeringen. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--6--SE.

- 7 Henriksson, L. The thinning quotient - a relevant description of a thinning? Gallringskvot - en tillförlitlig beskrivning av en gallring? Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--7--SE.
- 8 Ranvald, C. Sortimentinriktad avverkning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--8--SE.
- 9 Olofsson, C. Mångbruk i ett landskapsperspektiv - En fallstudie på MoDo Skog AB, Örnsköldsviks förvaltning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--9--SE.
- 10 Andersson, H. Taper curve functions and quality estimation for Common Oak (*Quercus Robur* L.) in Sweden. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--10--SE.
- 11 Djurberg, H. Den skogliga informationens roll i ett kundanpassat virkesflöde. - En bakgrundsstudie samt simulering av inventeringsmetoders inverkan på noggrannhet i leveransprognoser till sågverk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--11--SE.
- 12 Bredberg, J. Skattning av ålder och andra beståndsvariabler - en fallstudie baserad på MoDo:s indelningsrutiner. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 13 Gunnarsson, F. On the potential of Kriging for forest management planning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--13--SE.
- 16 Tormalm, K. Implementering av FSC-certifiering av mindre enskilda markägares skogsbruk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--16--SE.
- 1997 17 Engberg, M. Naturvärden i skog lämnad vid slutavverkning. - En inventering av upp till 35 år gamla föryngringsytor på Sundsvalls arbetsomsåde, SCA. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN-SLU-SRG-AR--17--SE.
- 20 Cedervind, J. GPS under krontak i skog. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--20--SE.
- 27 Karlsson, A. En studie av tre inventeringsmetoder i slutavverkningsbestånd. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--27--SE.
- 1998 31 Bendz, J. SÖDRAs gröna skogsbruksplaner. En uppföljning relaterad till SÖDRAs miljömål, FSC's kriterier och svensk skogspolitik. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--31--SE.
- 33 Jonsson, Ö. Träskikt och ståndortsförhållanden i strandskog. - En studie av tre bäckar i Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--33--SE.

- 35 Claesson, S. Thinning response functions for single trees of Common oak (*Quercus Robur* L.) Examensarbete. ISRN SLU-SEG-AR--35--SE.
- 36 Lindskog, M. New legal minimum ages for final felling. Consequences and forest owner attitudes in the county of Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--36--SE.
- 40 Persson, M. Skogsmarksindelningen i gröna och blå kartan - en utvärdering med hjälp av riksskogstaxeringens provytor. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--40--SE.
- 41 Eriksson, F. Markbaserade sensorer för insamling av skogliga data - en förstudie. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--41--SE.
- 45 Gessler, C. Impedimentens potentiella betydelse för biologisk mångfald. - En studie av myr- och bergimpediment i ett skogslandskap i Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--45--SE.
- 46 Gustafsson, K. Långsiktsplanering med geografiska hänsyn - en studie på Bräcke arbetsområde, SCA Forest and Timber. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--46--SE.
- 47 Holmgren, J. Estimating Wood Volume and Basal Area in Forest Compartments by Combining Satellite Image Data with Field Data. Examensarbete i ämnet Fjärranalys. ISRN SLU-SRG-AR--47--SE.
- 49 Härdelin, S. Framtida förekomst och rumslig fördelning av gammal skog. - En fallstudie på ett landskap i Bräcke arbetsområde. Examensarbete SCA. ISRN SLU-SRG-AR--49--SE.
- 1999 55 Imamovic, D. Simuleringsstudie av produktionskonsekvenser med olika miljömål. Examensarbete för Skogsstyrelsen. ISRN SLU-SRG-AR--55--SE
- 2000 67 Jonsson, T. Differentiell GPS-mätning av punkter i skog. Point-accuracy for differential GPS under a forest canopy. ISRN SLU-SRG-AR--67--SE.

### **Internationellt:**

- 1998 39 Sandewall, Ohlsson, B & Sandewall, R.K. People's options on forest land use - a research study of land use dynamics and socio-economic conditions in a historical perspective in the Upper Nam Nan Water Catchment Area, Lao PDR. ISRN SLU-SRG-AR--39--SE.
- 44 Sandewall, M., Ohlsson, B., Sandewall, R.K., Vo Chi Chung, Tran Thi Binh & Pham Quoc Hung. People's options on forest land use. Government plans and farmers intentions - a strategic dilemma. ISRN SLU-SRG-AR--44--SE.
- 48 Sengthong, B. Estimating Growing Stock and Allowable Cut in Lao PDR using Data from Land Use Maps and the National Forest Inventory (NFI). Master thesis. ISRN SLU-SRG-AR--48--SE.

1999 60 Inter-active and dynamic approaches on forest and land-use planning - proceedings from a training workshop in Vietnam and Lao PDR, April 12-30, 1999.  
Edited by Mats Sandewall ISRN SLU-SRG-AR--60--SE.